



Santeri Markkula

Mittausten hallintajärjestelmä puolustusvälineteollisuuden yritykseen

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 20.9.2016

Valvoja: Professori Kari Tammi

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Mikko Savander

Tekijä Santeri Markkula

Työn nimi Mittausten hallintajärjestelmä puolustusvälineteollisuuden yritykseen

Koulutusohjelma Konetekniikka

Pääaine Auto- ja työkonetekniikka

Koodi K111-3

Työn valvoja Professori Kari Tammi

Työn ohjaaja Diplomi-insinööri Mikko Savander

Päivämäärä 20.09.2016

Sivumäärä 62+27

Kieli Suomi

Tiivistelmä

NATO:n julkaisema AQAP 2110 standardi vaatii ISO 10012 standardin mukaisen mitausten hallintajärjestelmän noudattamista yrityksen laadunvarmistusmittauksissa. ISO 10012 asettaa vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteistoille. Merkittävin osa vaatimuksista koskee mittausprosesseista tehtävää ja niissä syntyvää dokumentaatiota ja metrologista varmennusta. Vaatimuksia on myös mitausten hallintajärjestelmän ja mittausprosessien hallinnalle, seuranalle, parantamiselle, resursseille ja poikkeamien hallinnalle. ISO 10012 mukainen mitausten hallintajärjestelmä ohjaa yrityksen mitaustusprosessien käsittelyä ja pyrkii jatkuvasti parantamaan itseään, sekä mittausprosesseja. Näin saavutetaan laadukkaampia mitaustuloksia, joiden avulla on mahdollista parantaa yrityksen asiakastytyvyyttä.

ISO 10012 vaatimusten täyttämiseksi analysoitiin standardin vaatimukset ja kuvattiin yrityksen mitausten hallintajärjestelmä prosessina, jonka lähtötilana on asiakkaan, viranomaisen, lainsäädännön tms. mitausta koskeva vaatimus ja lopputuloksena standardin vaatimusten mukaisella mittausprosessilla tuotettu mitaustulos. Lisäksi kirjoitettiin menettelyohjeet mitausten hallintajärjestelmästä, mittausprosessien kuvaamisesta, mittausepävarmuuden määrittämisestä, mittalaitteiden hallinnasta ja metrologisten vaatimusten johtamisesta. Menettelyohjeiden laatimisen tueksi suoritettiin esimerkkitimitaustusprosessi tuliputken kaliiperin mittaamisesta. Kehitetty mitausten hallintajärjestelmä integroitiin osaksi yrityksen toimintajärjestelmään, jolloin yrityksen toiminta täyttää AQAP 2110 vaatimukset mitausten hallintajärjestelmästä.

Avainsanat ISO 10012, metrologia, mittausprosessi,



Abstract of master's thesis

Author Santeri Markkula

Title of thesis Measurement management system in defence industry company

Degree programme Mechanical engineering

Major Vehicle engineering

Code K111-3

Thesis supervisor Professor Kari Tammi

Thesis advisor M.Sc. (Tech) Mikko Savander

Date 20.09.2016

Number of pages 62+27

Language Finnish

Abstract

AQAP 2110 standard published by NATO demands, that requirements of ISO 10012 shall be applied to measurement processes used in quality assurance. SFS-EN ISO 10012:2003 sets requirements for measurement processes and measurement devices. The majority of requirements manages for measurement process documentation and metrological confirmation. Also requirements for measurement process management, monitoring, analysis, improvement, resources and control of nonconformities. According to ISO 10012 the measurement management system controls the management of measurement processes and strives to continuously improve itself and measurement processes. The management system aims to high quality measurement results, that can be used to improve customer satisfaction.

To full requirements of ISO 10012 the standard was analysed and the measurement management system was characterized as a process chart. A Code of practice with necessary guides was developed and wrote to implement management system into the company operations. Guides were written for measurement management system, specifying measurement processes, determining measurement uncertainty, measurement management system and determination of metrological specifications. A demo measurement process was implemented for barrel caliber measurement according to procedures of developed measurement management system to support writing of guides. The developed measurement management system was integrated into the operating system of the company to assure that company operations full fill AQAP 2110 requirements for measurement management system.

Keywords ISO 10012, metrology, measurement process

Alkusanat

Mittausten hallintajärjestelmän kehittämiselle Patria Land Systems Oy:ssä oli selkeä tarve, sillä yrityksen noudattamat laatustandardit vaativat ISO 10012 standardin mukaista mitausten hallintajärjestelmää. Diplomityöksi mitausten hallintajärjestelmän kehittäminen oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen aihe, jonka parissa pääsi hyödyntämään opinnoissa kertyneitä taitoja erityisesti uuden oppimisessa.

Mittausten hallintajärjestelmän kehittämisprojektiin osallistui suuri määrä alansa asiantuntijoita Patria konsernista. Projektin vetäjänä ja samalla työn ohjaajana toimi diplomi-insinööri Mikko Savander. Projektin läpiviemisessä olivat apuna erityisesti Jarmo Ojanperä, Mika Anttonen, Juha Pääskyyuori, Anu Collin ja Pekka Korhonen.

Kiitän kaikkia projektiin osallistuneita Patrialaisia korvaamattomasta avusta mitausten hallintajärjestelmän kehittämisprojektin läpi viemisessä ja diplomityön tekemisessä. Kiitän myös Patria Land System Oy:tä ja Pekka Korhosta mahdollisuudesta tämän diplomityön tekemiseen niin aiheen, puitteiden kuin rahoituksenkin puolesta. Erityiskiitoksen opastuksesta, avustamisesta ja ideoinnista ansaitsevat diplomityön ohjaaja diplomi-insinööri Mikko Savander ja diplomityön valvoja professori Kari Tammi.

Espoossa 20.9.2016

Santeri Markkula

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo	5
Merkinnät	7
Lyhenteet	8
1 Johdanto	9
1.1 Tutkimuksen tausta	9
1.2 Tutkimusongelma	9
1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset	10
1.4 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne	10
2 Metrologia ja mittauksen hallintajärjestelmää koskevat standardit	11
2.1 Metrologia	11
2.1.1 Metrologia ja metrologinen jäljitettävyys	11
2.1.2 Kalibrointi	12
2.1.3 Mittausepävarmuus ja sen määrittäminen	13
2.1.3.1 Mittausepävarmuuden määritelmä ja mittausepävarmuutta käsittelevät ohjeet	14
2.1.3.2 Mittausepävarmuuden komponentit	15
2.1.3.3 Mittausepävarmuuden määrittäminen, tapa A	15
2.1.3.4 Mittausepävarmuuden määrittäminen, tapa B	17
2.1.3.5 Yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittäminen	18
2.1.3.6 Laajennettu epävarmuus	20
2.1.4 Metrologia osana liiketoimintaa	21
2.2 ISO 9001	22
2.3 AQAP 2110	24
2.4 ISO 10012	25
3 Vaatimukset mittauksen hallintajärjestelmälle	27
3.1 Organisaation ja metrologiatoimen johto sekä metrologiatoimi	27
3.2 Mittausprosessit	28
3.3 Metrologisten vaatimusten määrittäminen	28
3.4 Mittauksen hallintajärjestelmän soveltamisala	29
3.5 Mittausmenetelmän ja mittauslaitteiston valinta	30
3.6 Ympäristöolosuhteet ja vaikutussuureet	30
3.7 Mittausepävarmuus	31

3.8	Pätevyydet ja koulutus	32
3.9	Mittalaitteiden hallinta	32
3.9.1	Mittalaiterekisteri	32
3.9.2	Kalibrointi	33
3.10	Metrologinen varmentaminen	34
3.11	Mittausten hallintajärjestelmän seuranta ja parantaminen	35
3.12	Poikkeamat	36
3.13	Vaatimukset alihankkijoille	36
4	PLS:in mittausten hallintajärjestelmä	38
4.1	Lähtötilanne	38
4.2	Mittausten hallintajärjestelmä PLS:in toimintajärjestelmässä	39
4.3	Mittausten hallintajärjestelmän soveltamisala ja kriittisten mittausprosessien määrittäminen	42
4.4	Mittausprosessit ja niiden kuvaaminen	44
4.5	Mittalaitteiden hallinta	45
4.6	Poikkeamien hallinta	47
4.7	Tapausesimerkki mittausprosessista – Nemo / Amos tuliputken kaliiperin mittausprosessi	48
4.8	Parantaminen ja seuranta	50
4.9	Vaatimukset alihankkijoille	52
5	Pohdinta ja yhteenveto	53
5.1	Standardin vaatimusten täytyminen	53
5.2	Mittausten hallintajärjestelmän merkitys PLS:ille	55
5.3	Kehitystarpeet ja mahdollisuudet	57
5.4	Yhteenveto	59
6	Lähdeluettelo	61
	Liiteluettelo	63

Merkinnät

U_p	Laajennettu mittausepävarmuus
i	Mittaustulosryhmän indeksi
k	Kattavuuskerroin
n	Mittaustulosten lukumäärä
q	Mitattava suure
q_k	Yksittäinen mittaustulos
\bar{q}	Aritmeettinen keskiarvo q :lle
s	Standardikeskihajonta
s_i	i :n mittaustulosryhmän standardikeskihajonta
s_p	Populaation standardikeskihajonta
s^2	Kokeellinen varianssi
s_p^2	Populaation kokeellinen varianssi
u_c	Yhdistetty standardiepävarmuus
u_n	Yhdistetyn standardiepävarmuuden n . komponentti
x_n	Yksittäisen mittaustuloksen estimaatti
σ^2	Varianssi
μ_q	Mitattavan suureen odotusarvo

Lyhenteet

AMV	Armoured Modular Vehicle, Panssaroitu modulaarinen ajoneuvo
AQAP	Allied Quality Assurance Publication, Liittoutuneiden laadunvarmistusjulkaisu
CGPM	The General Conference on Weights and Measures, Yleinen paino- ja mit-takonferenssi
EURAMET	The European Association of National Metrology Institutes, Euroopan kansallisten metrologia instituuttien yhteisö
EUROLAB	European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories, Euroopan kansallisten mittaus-, testaus- ja analyysilaboratoriojärjestöjen liitto
GL	Geodeettinen laitos
GPS	Geometrical Product Specifications, Geometriset tuotevaatimukset
GQAR	Government Quality Assurance Representative, organisaation asettama laadunvarmistuksen edustaja
GUM	Guide to the expression of Uncertainty in Measurement, Opas epävarmuuden ilmaisemiseen mittauksessa
LOI	Laatuongelmailmoitus
ISO	International Organization for Standardization, Kansainvälinen standardisointi organisaatio
JCGM	Joint Committee for Guides in Metrology
MIKES	Mittaustekniikan keskus, Suomen kansallinen metrologialaitos (NMI)
NATO	The North Atlantic Treaty Organization, Pohjois-Atlantin liitto
NIST	National Institute of Standards and Technology, Yhdysvaltain kansallinen standari- ja teknologialaitos
NMI	National Metrology Institute, kansallinen metrologialaitos
PDCA	Plan Do Check Act, Suunnittele Toteuta Arvioi Toimi
PLS	Patria Land Systems Oy
SEM	System Engineering Manager
STUK	Säteilyturvakeskus
VIM	International Vocabulary of Metrology, Kansainvälinen metrologian sanasto
eaa.	Ennen ajanlaskun alkua

1 Johdanto

Tämä diplomityö on tehty Patria Land Systems Oy:lle (myöhemmin tekstissä PLS), joka on puolustusvälineteollisuuden yritys ja osa Patria-konsernia. PLS:in päätuotteita ovat modulaariset panssaroidut pyöräajoneuvot (AMV, Armoured Modular Vehicle), tornilliset kranaatinheittimet ja näiden elinkaarten tukipalvelut. Patria AMV ajoneuvot ja kranaatinheittimet ovat markkinajohtajia tuotesegmenteissään ja niitä on toimitettu Suomen lisäksi useisiin maihin. PLS haluaa jatkuvasti kehittää toimintaansa kyetäkseen vastaamaan entistä paremmin asiakkaiden tiukkoihin tuotevaatimuksiin, ja tästä syystä PLS haluaa kehittää myös mittauksen hallintajärjestelmäänsä. [1]

1.1 Tutkimuksen tausta

PLS:in asiakkaat vaativat yrityksen tuotteilta kansainvälistä yhteensopivuutta. Käytännössä tämä usein tarkoittaa, että yrityksen tuotteiden ja toiminnan tulee täyttää NATO:n asettamat vaatimukset. Tämän työn kannalta oleellista on, että jotkin asiakkaat vaativat AQAP 2110 -standardin (NATO Quality Assurance Requirements for Development and Design) noudattamista. Kyseinen standardi vaatii, että toimittajan mittauksen hallintajärjestelmän on noudatettava SFS-EN ISO 10012:2003 standardia [2].

Myös yleisesti ottaen yrityksen laatua pystytään parantamaan ja tuottamaan yritykselle lisäarvoa parantamalla yrityksen tekemien mittauksen laatua. Mittaamalla ei siis pelkästään etsitä virheitä, vaan se on osa jalustusprosessia, jolla kasvatetaan tuotteen arvoa. Luotettavilla mittaustuloksilla voidaan osoittaa asiakkaalle asiakkaan vaatimusten täyttyminen. Asiakas voi tällöin luottaa tuotteiden olevan sitä, mitä kerrotaan. Toisaalta laadukkaan mittauksenhallinnan avulla voidaan suoraan vähentää tuotannossa syntyvää materiaalihukkaa, turhaa työtä ja asiakasreklamaatioita. Huonosti toteutetut laadun varmistusmittaukset saattavat hylätä todellisuudessa vaatimukset täyttäviä tuotteita ja toisaalta johtaa viallisten tuotteiden hyväksyntään. On myös mahdollista, että tuotantoa ohjataan väärään suuntaan, mikäli tuotettu mittaustieto ei ole laadukasta. Mittausprosessi saattaa tuottaa tuloksia, jotka näyttävät jonkin valmistusprosessin tuottavan epätasalaatuisia tuotteita, vaikka todellisuudessa hajonta johtuu mittausprosessin suuresta mittausepävarmuudesta [3].

Edellä mainittujen seikkojen johdosta, PLS päätti kehittää mittauksen hallintajärjestelmäänsä noudattamaan SFS-EN ISO 10012:2003 standardia. SFS-EN ISO 10012:2003 standardin noudattaminen, ja siten yrityksen metrologisen toiminnan laadun parantaminen johtavat yrityksen kilpailukykyyn, tuottavuuden ja tuotteiden laadun parantumiseen.

1.2 Tutkimusongelma

Tämän työn tarkoituksena oli kehittää PLS:n tarpeita vastaava SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukainen mittauksen hallintajärjestelmä. Työssä etsitään ratkaisut, joilla PLS:n mittauksen hallintajärjestelmä saadaan täyttämään standardin vaatimukset. Tutkimuskysymys on siis ”Miten PLS vastaa SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksiin?”. Työn lopputuloksena on joukko ohjeita, määrittäviä ja menettelytapoja, joita yhdistävät määritellyt prosessit. Kokonaisuutena nämä muodostavat järjestelmän, jolla PLS:n mittauksia voidaan hallita SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukaisesti.

Tutkimusongelman selvittämiseksi tutkimusongelmasta voitiin johtaa seuraavat alakysymykset:

- Mitä SFS-EN ISO 10012:2003 standardi vaatii?
- Miten laajasti standardia sovelletaan?
- Mitkä vaatimukset PLS:n toiminta jo täyttää?
- Miten muut standardin vaatimukset täytetään?

1.3 Työn tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tavoitteena oli tuottaa PLS:ille SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukainen mittausten hallintajärjestelmä. Tärkeimpänä tehtävänä oli kuvata menetelmät, toimintatavat ja prosessit, joiden avulla standardin vaatimukset voitiin täyttää. Tavoitteena oli saattaa mittausten hallintajärjestelmän piiriin kaikki mittausprosessit, joiden katsottiin siihen kuuluvan ja pyrittiin määrittämään nämä mittausprosessit sekä kirjoittamaan mittauksille työohje. Lopputuloksena voitiin kuvata koko mittausprosessin kehitys mittaustarpeen tunnistamisesta asiakkaan metrologisten vaatimusten täyttymiseen.

Työn lopussa pohditaan miltä osin SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset tämän työn puitteissa saatiin täytettyä ja miten vaatimusten täytyminen osoitettiin. Joidenkin vaatimusten toteutumista ei voitu osoittaa tässä työssä, sillä standardin implementointi käytäntöön vie suuressa yrityksessä paljon aikaa.

1.4 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Työn tavoitteiden saavuttamiseksi perehdyttiin aihetta käsittelevään kirjallisuuteen ja julkaisuihin. Mittausten hallintajärjestelmää koskevien standardien pohjalta luodaan vaatimustaulukko, jossa esitettäviin vaatimuksiin työssä vastataan. Ratkaisujen löytämiseen käytetään kirjallisuuden lisäksi yrityksen sisäisiä sekä ulkoisia asiantuntijoita ja yrityksessä jo käytössä olevia toimintamalleja, ohjeistuksia ja prosesseja. PLS:in mittausten hallintajärjestelmän nykytilan selvittämiseksi ollaan yhteydessä yrityksen eri alojen asiantuntijoihin ja tutustaan olemassa olevaan dokumentaatioon.

Diplomityön aluksi tehtiin kirjallisuustutkimus, jossa perehdyttiin mittausten hallintajärjestelmää koskeviin standardeihin. Lisäksi tehtiin yleinen katsaus metrologiaan, sen perusteisiin ja vaikutuksiin liiketoiminnassa sekä muun muassa mittausepävarmuuden määrittämiseen ja sitä koskeviin ohjeisiin.

Kirjallisuustutkimuksen pohjalta analysoitiin mittausten hallintajärjestelmää koskevat standardien vaatimukset, joiden pohjalta luotiin vaatimustaulukko. Lähtötilanteen kartoittamiseksi selvitettiin, mitkä vaatimukset yrityksen toiminta jo täytti ja todettiin ne vaatimukset, joiden täyttämiseksi oli kehitettävä uusia menetelmiä. Vaatimuksiin vastaamiseksi etsittiin ratkaisut tukeutuen kirjallisuuteen ja asiantuntijoihin. Myös olemassa olleita menettelyjä, toimintatapoja ja ohjeita voitiin muokata tarpeen mukaan.

2 Metrologia ja mittausten hallintajärjestelmää koskevat standardit

Tässä luvussa perehdytään mittausten hallintajärjestelmää koskeviin standardeihin ja lyhyesti metrologian perusteisiin. Luvussa käsitellään myös mittausepävarmuutta ja metrologian taloudellisia vaikutuksia yrityksen toiminnassa.

2.1 Metrologia

2.1.1 Metrologia ja metrologinen jäljitettävyyys

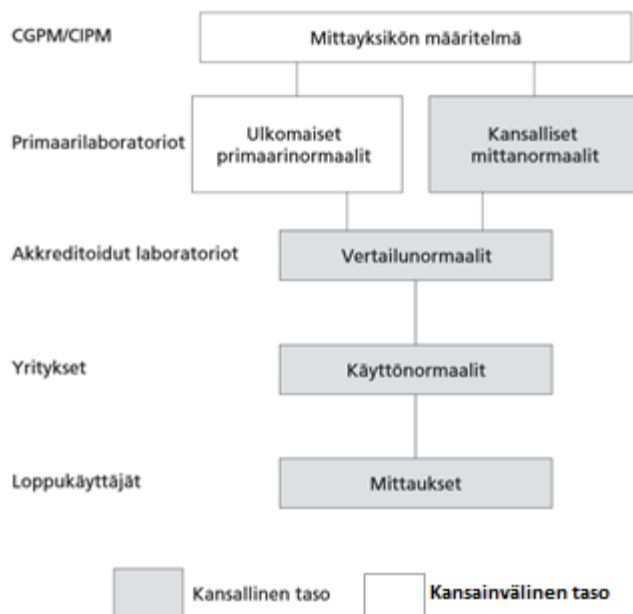
Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM) määrittelee termin ”metrologia” seuraavasti: ”mittaustiede ja sen soveltaminen” [4]. Mittaustekniikan keskuksen (MIKES) julkaisu Metrologiasta lyhyesti taas jakaa metrologian tieteenalana kolmeen pääalueeseen:

- Kansainvälisesti hyväksyttyjen mittayksikköjen määritelmät
- Mittayksikköjen toteuttaminen tieteellisin keinoin
- Jäljitettävyyssketjun muodostaminen mittausten tarkkuuden dokumentointia varten

Lisäksi julkaisun mukaan metrologiaan kuuluu teoreettiset ja käytännölliset mittaongelmat riippumatta mittaustarkkuudesta. [5] Edellä esitetyt määritelmät lähestyvät metrologiaa hieman eri näkökulmista. MIKES:in määritelmä painottaa erityisesti metrologista jäljitettävyyttä, johon perehdytään jäljempänä. VIM:in määritelmä on taas yleisempi ja jättää enemmän tulkinnan varaa, siihen mikä on mittaustieteiden soveltamista. Tämä on sinällään mielenkiintoista, koska VIM on monessa standardissa mainittu velvoittavana dokumenttina, eli VIM:in määritelmien tulisi olla mahdollisimman yksiselitteisiä. Edellä esitettyjen määritelmien perusteella termi ”metrologia” käsittää kaiken mittaamiseen liittyvän.

Useissa metrologiaa käsittelevissä julkaisussa, esimerkiksi [5] ja [6], kerrotaan metrologian juurien ulottuvan kauas historiaan ja ensimmäisten pituuden mittanormaalien esiintyneen jo muinaisen Egyptin rakennustyömailla noin 3000 eaa. Läpi historian on esiintynyt useita erilaisia yksikkö- ja mittanormaalijärjestelmiä, jotka yhtä kaikki, kuten tänäkin päivänä, ovat tähänneet samaan tavoitteeseen: metrologian tärkeimpänä tavoitteena on kehittää menetelmiä, joilla voidaan tuottaa mahdollisimman yhtäläisiä mittaustuloksia kaikkialla maailmassa. Eli pyritään siihen, että esimerkiksi saman kappaleen pituuden mitta säilyy samana, mitattiin pituus missä tahansa. Tämä on tärkeää niin kaupankäynnin, tieteen kuin arkipäiväisen keskustelunkin kannalta. Toimiminen olisi lähes mahdotonta, mikäli keskustelukumppanin puheessa vesilitra tarkoittaisi lusikallista vettä ja omassa puheessa kannulista. Samasta syystä yhtenäisesti määritettyjen suureiden ja mittayksiköiden käyttö on tärkeää. [6]

Jotta kaikkialla saavutettaisiin yhtäläisiä mittaustuloksia, on tulosten oltava ilmoitetut yleisesti hyväksytyissä mitattua suuretta kuvaavissa mittayksiköissä ja tulosten on oltava jäljitettävissä yleisesti sovittuihin ja määritettyihin suureen mittayksikköä kuvaaviin mittanormaaleihin. Metrologinen jäljitettävyyys perustuu katkeamattomaan kalibroitien ketjuun, joka lähtee korkeimman tason kansainvälisestä mittayksikön määritelmästä ja päättyy mittauksessa käytettyyn mittalaitteeseen [6]



Kuva 1 Mittanormaalien hierarkia [5]

Kuvassa 1 on esitetty mittanormaalien hierarkia korkeimmalta kansainväliseltä tasolta loppukäyttäjälle asti. Kansainvälisiä mittayksikköjen määritelmiä ylläpitää CGPM (The General Conference on Weights and Measures). Kansalliset primaarilaboratoriot vertaavat omia mittanormaalejaan näihin mittayksikköjen määritelmiin. Kansallisista primaarilaboratorioista vastaa Suomessa MIKES. MIKES on määrittänyt tietyille aloille kansalliseksi mittanormaallaboratorioiksi MIKES:in ulkopuolisia laboratorioita. Esimerkiksi Aalto-yliopiston optisten suureiden laboratorio toimii Suomessa kansallisena mittanormaallaboratoriona. Suomen lakien määräämänä mittanormaallaboratoriona toimivat ionisoivan säteilyn osalta säteilyturvakeskus (STUK) ja putoamiskiihtyvyyden ja geodeettisen pituuden osalta geodeettinen laitos (GL). MIKES on myös sopinut eräiden akkreditoitujen laboratorioiden kanssa näiden toimimisesta niin sanottuina sopimuslaboratorioina aloilla, joilla kansalliset mittanormaallaboratoriot eivät tarjoa kalibrointipalveluja. [5]

Akkreditoidut kalibrointilaboratoriot vertaavat omia mittanormaalejaan kansallisten mittanormaallaboratorioiden mittanormaaleihin. Yritykset taas ostavat akkreditoituiltalibrointilaboratorioilta kalibrointipalveluja, joissa verrataan yrityksen mittalaitteiden näyttämiä ja mittanormaaleja kalibrointilaboratorion mittanormaaleihin. Näin syntyvät kalibrointiketjun lenkit yrityksen mittalaitteiden ja mittayksiöiden määritelmien väleille. Kun loppukäyttäjä käyttää akkreditoitussa laboratorioissa kalibroitua mittalaitteita on mittaustulos mahdollista jäljittää kansainvälisiin mittayksikköiden määritelmiin. [5]

2.1.2 Kalibrointi

Hyvin usein arkikielessä puhutaan kalibroinnista, kun esimerkiksi asetetaan digitaalisen työntömitan nollakohta tai valitaan yleismittarista oikea mittaustulos. Kalibroinnin käsitellään virheellisesti olevan tapahtuma, jossa säädetään mittalaitte näyttämään oikeita mittaustuloksia. Kalibrointi on kuitenkin metrologisen jäljitysketjun vaihe, jossa määritetään mittalaitteen metrologiset ominaisuudet. Käytännössä kalibroinnissa määritetään näyttämän, mittanormaalimittan tai esimerkiksi tulkin mittan ero mittayksikön määritelmään tietyllä mittaustuloksen epävarmuudella. Kalibroinnin tuloksen epävarmuuden ja luotettavuuden arvio on

olennainen osa kalibrointia ja niitä hyödynnetään määrittäessä kalibroidulla mittalaitteella suoritettavan mittausprosessin mittausepävarmuutta [7, 5] Mittausepävarmuutta käsitellään seuraavassa luvussa. Kalibroinnissa ei siis lähtökohtaisesti säädetä laitetta näyttämään oikeaa arvoa, vaan määritetään mittalaitteen virheen suuruus. Esimerkiksi mittanormaalin kohdalla kalibroinnissa määritetään mittanormaalin mitan poikkeama ilmoitetusta nimellimitasta. Tämän perusteella voidaan arvioida, onko mittanormaali enää käyttökelpoinen alemman tason kalibrointitoimintaan.

Tyypillisessä kalibrointitapahtumassa kalibroidaan esimerkiksi jokin pituuden mittalaite. Tällöin mittalaitteella mitataan tunnetun kappaleen (mittanormaalin) pituutta ja verrataan mittalaitteen näyttämää mittanormaalin mittaan. Mittalaitteen näyttämän ja mittanormaalin eron perusteella voidaan määrittää mittalaitteen virhe ja arvioida mittalaitteen mittausepävarmuutta. Kalibroinnissa voidaan käyttää mittanormaalin sijasta myös esimerkiksi kalibroitavaa laitetta tarkempaa mittalaitetta. Kalibroinnissa on huomioitava mittalaitteille asetetut vaatimukset. Esimerkiksi geometristen mittalaitteiden vaatimukset määrittelee standardi ISO 14978:2006 Geometrical Product Specifications (GPS). General concepts and requirements for GPS measuring equipment [8]. Mikäli kalibroinnissa havaitaan, ettei mittalaite täytä standardin vaatimuksia, ei metrologisen jäljitettävyyshetken katkeamattomuutta voida välttämättä osoittaa.

Metrologisen jäljitettävyyshetken säilyminen mittalaitteen elinkaaren aikana osoitetaan siis kalibroinneilla. Kalibroinnit suoritetaan pääasiassa määräajoin, ennalta suunnitellun kalibrointiohjelman mukaan. Kalibrointien aikaväli on tavanomaisessa mittalaitteessa yksi vuosi. Kalibrointien aikaväliä voidaan kuitenkin lyhentää tai pidentää perustuen esimerkiksi mittalaitteen valmistajan ohjeisiin, mittalaitteen ominaisuuksiin, käytön määrään, tai mittalaitteen tuottamien tulosten kriittisyyteen esimerkiksi turvallisuuden kannalta. Tyypillisin peruste mittalaitteen kalibrointijakson muuttamiseen on mittalaitteen kalibrointihistoria. Mikäli laite on menneisyydessä osoittautunut stabiiliksi, eivätkä sen metrologiset ominaisuudet ole muuttuneet edellisten kalibrointijaksojen aikana, voidaan kalibrointijaksoa pidentää. Toisaalta taas epävakaa mittalaitteen kohdalla kalibrointijaksoa tulee lyhentää. [9] Myös esimerkiksi lait, viranomaisvaatimukset tai standardit saattavat asettaa rajoituksia kalibrointijakson pituudelle [10].

2.1.3 Mittausepävarmuus ja sen määrittäminen

Tässä luvussa käsitellään mittausepävarmuutta ja sen määrittämistä. Alussa tutustutaan mittausepävarmuuden määritelmään ja sen määrittämistä käsitteleviin ohjeistuksiin, joihin viitattiin esimerkiksi SFS-EN ISO 10012:2003 standardissa. Luvussa esitellään myös ohjeisiin perustuvat tilastolliset ja matemaattiset perusteet mittausepävarmuuden määrittämiseen, joiden pohjalta kirjoitettiin PLS:in mittausprosessin hallintajärjestelmään kuuluva ohje mittausepävarmuuden määrittämisestä mittausprosessille.

Mittausepävarmuuden määrittämistä koskevilla luvuilla epävarmuuden määrittämisessä käytettävien kaavojen johtamiseen ei perehdytty syvällisesti, sillä menetelmät ovat tyypillistä tilastojen käsittelyä. Esitettyjen kaavojen tarkempi johtaminen esitetään esimerkiksi GUM:issa (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) [11]. Tässä työssä esitetään tarvittavat tilastolliset menetelmät vain niiltä osin, kuin ne ovat oleellisia mittausepävarmuuden ymmärtämiseen käsitteenä ja tarpeellisia tavanomaisen mittausprosessin mittausepävarmuuden määrittämisessä.

2.1.3.1 Mittausepävarmuuden määritelmä ja mittausepävarmuutta käsittelevät ohjeet

Mittausepävarmuus on määritelty VIM:issä seuraavasti: ”ei-negatiivinen parametri, joka käytettyjen tietojen perusteella kuvaa mittaussuurelle saatujen arvojen oletettua vaihtelua” [4]. MIKES:in julkaisussa mittausepävarmuus määritellään taas hieman käytännönläheisemmin: ”Mittausepävarmuus on mittaustuloksen laadun kvantitatiivinen arvio, jonka avulla on mahdollista verrata mittaustulosta toisiin tuloksiin, spesifikaatioihin tai mitta-normaaaleihin.” [5]. Mittausepävarmuus on siis kuvaus siitä, kuinka lähellä uskomme mit-taustuloksen olevan todellista mitattavan suureen arvoa, sillä mittausepävarmuus kertoo millaisten virherajojen sisällä mitattavana suureen todellinen arvo on mittaustulokseen nähden tietyllä todennäköisyydellä. [12]

Mittausepävarmuuden määrittämiseen mittausprosessille löytyi kirjallisuudesta suuri määrä erilaisia ja eritasoisia ohjeita. ISO 10012 standardi ohjeistaa käyttämään mittausprosessin mittausepävarmuuden määrittämisessä apuna niin sanottua GUM opasta [7]. GUM on JCGM:n (Joint Committee for Guides in Metrology) laatima opas mittausepävarmuuden määrittämiseen ja se on mittausepävarmuuden määrittämisen perusteoksia. GUM on laaja ja perusteellisesti mittausepävarmuutta käsittelevä dokumentti. [11] Käytännön mittauksien epävarmuuden määrittämiseen löytyy suppeampia ja helpommin sovellettavia ohjeita, jot-ka perustuvat GUM:iin. Esimerkiksi EUROLAB:in (European Federation of National As-sociations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories) tekninen raportti no. 1/2002 ”Measurement uncertainty in testing” antaa perustyökalut mittausepävarmuuden määrittämiseen lyhyesti, muttei ole riittävä lähdeos esimerkiksi hyvin vaativien mittaus-ten epävarmuuden määrittämiseen [13]. Käytännön läheinen ja suhteellisen laaja opas mit-tausepävarmuuden määrittämiseen on SFS-EN ISO 17025-2. Se käsittelee mittausepävar-muuden määrittämistä vaihe vaiheelta ja antaa konkreettisia esimerkkejä esimerkiksi epä-varmuuden aiheuttajista. [14]

Mittausepävarmuus kuvaa siis aluetta, jolla mitatun suureen todellisen arvon uskotaan ole-van tietyllä todennäköisyydellä suhteessa mittaustulokseen. Mittausepävarmuus on mit-taustulosten satunnaisen vaihtelun alue. Mittausepävarmuus on kaikkien mittausprosessiin vaikuttavien tekijöiden aiheuttamien epävarmuuksien yhdistelmä. GUM:issa painotetaan, etteivät mittauksen epävarmuus ja virhe ole kuitenkaan synonyymejä. [11] VIM:in mukaan mittausvirhe on suureen mitatun arvon ja vertailuarvon erotus. Mittausvirhe koostuu sys-temaattisesta mittausvirheestä, joka pysyy mittausta toistettaessa vakiona tai vaihtelee odo-tetulla tavalla, ja satunnaisesta mittausvirheestä, joka vaihtelee ennustamattomasti. Mit-tausvirhe ja mittausepävarmuus kuvaavat siis eri ilmiöitä. Mittausepävarmuutta määritettä-essä oletetaan, että esimerkiksi systemaattinen mittausvirhe on huomioitu esimerkiksi kor-jauskertoimella. Toisaalta tämän korjauskertoimen epävarmuus voidaan sisällyttää mit-tausprosessin kokonaismittausepävarmuuteen. Usein mittausepävarmuus osatekijät määri-tellään epävarmuuteen vaikuttavien satunnaisesti vaihtelevien komponenttien keskihajon-toina ja näitä kutsutaan standardiepävarmuuksiksi. [4]

GUM:issa mittausepävarmuutta lähestytään kahdella eri määrittämistavalla. Määrittämis-tapa A on tilastollinen menetelmä, jossa mittausepävarmuus määritetään toistamalla mit-tausta ja laskemalla näin saaduille mittaustuloksille standardiepävarmuus tilastollisin me-netelmin. Määrittämistapa B perustuu esimerkiksi mittalaitteen valmistajan, muun asian-tuntijan tai kirjallisuuden antamiin arvioihin epävarmuudesta, mittalaitteen virheestä tai muusta mittausepävarmuutta aiheuttavasta seikasta. Usein mittausprosessin mittausepä-

varmuuden määrittämisessä käytetään molempia metodeja, jotta kaikki epävarmuuden aiheuttajat tulevat huomioiduiksi. [11]

2.1.3.2 Mittausepävarmuuden komponentit

Mittauksen epävarmuuteen vaikuttaa aina useita tekijöitä. Mittausepävarmuuden määrittäminen lähtee liikkeelle näiden komponenttien tunnistamisesta, jonka jälkeen epävarmuuden komponenteille lasketaan tai määritetään arvo tavalla A tai B. Epävarmuuden komponenttien tunnistaminen on usein haastavaa ja merkittäviäkin tekijöitä saattaa jäädä huomioidamatta. Tunnistamisen helpottamiseksi standardissa [14] on mahdolliset epävarmuuden aiheuttajat jaettu Kuva 2 mukaisesti kymmeneen luokkaan. Standardissa on myös lueteltu kuhunkin luokkaan kuuluvia epävarmuuden komponentteja tunnistamisen helpottamiseksi. Tyypillisiä epävarmuuskomponentteja ovat esimerkiksi lämpötilan aiheuttamat muutokset ja kalibrointiepävarmuus. [14]



Kuva 2 Epävarmuuden komponenttien luokittelu [14]

Mittauksen epävarmuuden hahmottamiseksi epävarmuuden komponentit on järkevää kerätä ns. epävarmuusbudjetiksi. Tällä tarkoitetaan epävarmuuskomponenttien keräämistä taulukoksi siten, että taulukosta ilmenee epävarmuuskomponenttien nimi, tunnus (symboli), määrittämistapa, vaihteluväli, jakauma, standardiepävarmuus, kaava, jolla vaihteluväli on määritetty sekä mahdolliset lisähuomiot. Näin taulukoimalla voidaan helposti nähdä merkittävimmät epävarmuuden aiheuttajat ja tarvittaessa pienentää mittausepävarmuutta asettamalla esimerkiksi mittausolosuhteille rajoituksia. [14]

2.1.3.3 Mittausepävarmuuden määrittäminen, tapa A

Tyyppin A epävarmuus saadaan vakio-olosuhteissa tehdystä toistomittauksesta, jossa on tehty n mittausta satunnaisesti vaihtelevalla suurella q , jonka odotusarvon μ_q paras estimaatti on useimmissa tapauksissa aritmeettinen keskiarvo \bar{q} .

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (1)$$

Keskiarvon avulla voidaan laskea toistomittauksen kokeellinen varianssi s^2 , joka estimoi suureen q satunnaisten vaihtelun todennäköisyysjakauman varianssia σ^2 ja kuvaa yksittäisten mittaustulosten q_k vaihtelua.

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2 \quad (2)$$

Kokeellinen standardikeskihajonta $s(q_k)$ on yhtälöstä (2) lasketun varianssin positiivinen neliöjuuri, jota voidaan käyttää yksittäisten mittaustulosten standardiepävarmuutena u . Keskiarvon keskihajonnan laskemiseksi, keskiarvon varianssin paras estimaatti saadaan seuraavasta:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (3)$$

Yhtälöstä (3) saatava kokeellinen keskiarvon varianssi ja sen positiivinen neliöjuuri, eli keskiarvon kokeellinen keskihajonta $s(\bar{q})$, kuvaavat kuinka hyvin mittaustulosten aritmeettinen keskiarvo \bar{q} estimoi suureen q odotusarvoa μ_q . Keskiarvon keskihajontaa voidaan käyttää mittaustulosten keskiarvon \bar{q} standardiepävarmuutena.

GUM:issa huomautetaan, että jotta kokeellinen keskiarvon varianssi $s^2(\bar{q})$ estimois riittävän luotettavasti varianssia $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma/n$, on toistomittauksen havaintojen lukumäärän n oltava riittävän suuri. Kokeellisen varianssin $s^2(\bar{q})$ ja varianssin $\sigma^2(\bar{q})$ ero on huomioitava määritettäessä luottamusvälejä. [11]

Mikäli mittaustulokset ovat ryhmyntyneet, eli tulospopulaatio on jakautunut ryhmiin, tulee tämä huomioida mittausepävarmuutta määritettäessä. Ryhmyntyminen saattaa johtua esimerkiksi mitattavien kappaleiden vaihtelusta, mitä ei luonnollisesti haluta huomioida mittausepävarmuudessa. Mikäli ryhmyntymistä ei huomioitaisi, kappaleiden vaihtelua ei mitaamalla havaittaisi vaan vaihtelevien mittaustulosten oletettaisiin johtuvan mittausepävarmuudesta. Mittaustulosten ryhmyntyminen huomioidaan käyttämällä varianssin estimoinnissa populaation varianssia s_p^2 ja vastaavasti populaation keskihajontaa s_p .

Olkoon s_i^2 i :nnen ryhmän kokeellinen varianssi, ryhmän havaintojen lukumäärä n_i ja ryhmien lukumäärä N . Nyt populaation varianssi s_p^2 on

$$s_p^2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i s_i^2}{\sum_{i=1}^N v_i} \quad (4)$$

, missä $v_i = n_i - 1$. Näistä edelleen populaation **keskiarvon** kokeelliseksi varianssiksi ja standardiepävarmuudeksi saadaan

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s_p^2}{n} \quad (5)$$

ja

$$u(\bar{q}) = \frac{s_p}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

GUM korostaa, että mittausepävarmuuden määrittämiseen on muitakin tilastollisia menetelmiä, kuin edellä esitetty, joilla voidaan määrittää mittausepävarmuus hyvällä tarkkuudella. Joihinkin tapauksiin edellä esitetty epävarmuuden määrittämistapa ei edes sovellu, esimerkiksi havaintojen ollessa riippuvaisia toisistaan ajan suhteen. Tällöin on käytettävä kyseiseen tapaukseen erityisesti suunniteltua tilastollista menetelmää. [11]

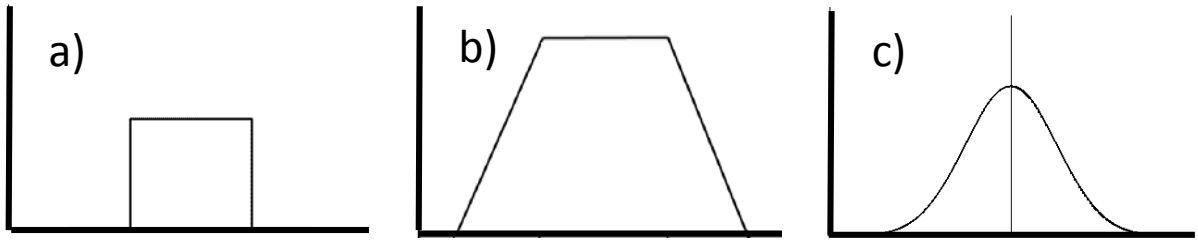
2.1.3.4 Mittausepävarmuuden määrittäminen, tapa B

Tapa B ei perustu toistomittauksiin, vaan tieteelliseen arvioon perustuen kaikkeen mahdolliseen mittauksesta saatavilla olevaan tietoon. Mittausepävarmuuden määrittäminen tavalla B vaatii ammatillista kokemusta ja näkemystä, jotta kaikki oleelliset epävarmuuden aiheuttajat osataan huomioida. Tiedot, joita käytetään epävarmuuden määrittämiseen voivat olla peräisin esimerkiksi aiemmasta mittaustuloksista, kokemuksesta tai yleisestä mittausprosessin tuntemisesta, valmistajien spesifikaatioista, kalibrointitodistuksista tai -sertifikaateista. GUM:issa huomautetaan, että tavalla B määritetty mittausepävarmuus on usein hyvinkin luotettava, erityisesti mikäli tavan A tilastolliseen määrittämiseen käytettävissä oleva mittaustulosaineisto on suppea. [11]

Jos mittaustuloksen estimaatti x_n on ilmoitettu esimerkiksi lähdeoteoksessa yhdessä mittausepävarmuuden kanssa ja mittausepävarmuuden on ilmoitettu olevan keskihajonta jollain kertoimella, on standardiepävarmuus $u(x_n)$ yksinkertaisesti ilmoitettu epävarmuus jaettuna kyseisellä kertoimella. Vastaavasti varianssin estimaatti $u^2(x_n)$ on edellä mainitun neliö. Joissain tapauksissa mittausepävarmuuden luotettavuus on ilmoitettu keskihajonnan kertoimen sijaan luottamustasona. GUM:in mukaan, mikäli muuta ei ole ilmoitettu, muuttujan voidaan olettaa noudattavan normaalijakaumaa. Tällöin standardiepävarmuus saadaan jakamalla ilmoitettu mittausepävarmuus luottamustasoa korreloivalla kertoimella ja varianssin estimaatti edelleen standardiepävarmuuden neliönä.

Mittaustulos saatetaan ilmoittaa myös muodossa ”mittaustulos osuu 50 % todennäköisyydellä välille $[-a, a]$ ”. Tällöin standardiepävarmuuden määrittämiseksi on oletettava, että mittauksen odotusarvo μ_q on ilmoitetun välin $[-a, a]$ keskellä ja edelleen, että mittaustulokset ovat normaalisti jakautuneet. Näin standardiepävarmuus on $u(x_n) = 1,48a$, sillä kerroin 1,48 vastaa noin 50 % luottamustasoa.

Jos lähtötietona epävarmuuden määrittämiselle on vain alue, jolle mittaustulos osuu kaikissa mahdollisissa tapauksissa ja todennäköisyys sille, että mittaustulos on ilmoitetun alueen ulkopuolella, on käytännössä nolla ja mittaustulosten jakautumisesta ei tällaisessa tapauksessa ole mitään tietoa, on mittaustulosten oletettava jakautuneen tasaisesti koko välille. Tällöin jakauma on muodoltaan suorakulmainen (kuva 3a). Tällöin kun oletetaan odotusarvon μ_q sijaitsevan ilmoitetun alueen $[-a, a]$ keskellä saadaan varianssin estimaatiksi



Kuva 3 a) Suorakulmainen jakauma, b) puolisuunnikkaan muotoinen jakauma, c) normaalijakauma

$$u^2(x_n) = \frac{a^2}{3} \quad (7)$$

GUM kehottaa huomioimaan, että edellisellä menetelmällä määritetty epävarmuus vaikuttaa merkittävästi mittaustuloksen epävarmuuteen ja täten on syytä pyrkiä hankkimaan lisätietoa kyseisestä tapauksesta [11]. Mikäli ilmoitettu alue ei ole symmetrinen, ei kaava (7) pidä paikkaansa. Olkoon epäsymmetrinen väli $[b, a]$, $b \neq a$. Tällöin

$$u^2(x_n) = \frac{(a-b)^2}{12}, \quad (8)$$

Edellä esitetyn kaltainen tasaisesti määrätylle välille jakautunut suure on harvinainen ja usein se ei ole fysikaalinen. On useimmiten realistisempaa olettaa, että suureen arvot osuvat useammin jakauman keskialueelle, kuin lähelle jakauman reunoja. Tällöin voidaan perustellusti olettaa jakauma tasakylkisen puolisuunnikkaan muotoiseksi (kuva 3b). Suunnikkaan pohja on välin $[-a, a]$ levyinen ja puolisuunnikkaan kapeamman sivun leveydeksi saadaan $2a\beta$, jossa $0 \leq \beta \leq 1$. Kun $\beta \rightarrow 1$ lähestyy puolisuunnikkaas suorakulmion muotoa ja taas kun $\beta = 0$, on jakauman muoto tasakylkinen kolmio. Tällaisen puolisuunnikkaan muotoisen jakauman odotusarvo on mainitun välin keskellä ja odotusarvon varianssi on

$$u^2(x_n) = \frac{a^2(1+\beta^2)}{6}. \quad (9)$$

Mikäli oletetaan välin $[-a, a]$ kattavan 100 % sijaan vain 99,73 % jakaumasta, mikä vastaa $\pm 3\sigma$, normaalijakauman luottamusväliä, ja tiedetään jakauman noudattavan suunnilleen normaalijakaumaa (kuva 3c), saadaan varianssin estimaatiksi

$$u^2(x_n) = \frac{a^2}{9}. \quad (10)$$

Edellä esitettyjen kaavojen neliöjuuret vastaavat siis standardiepävarmuutta $u(x_n)$. [11] Edellä esitettyjä kaavoja (7), (9) ja (10) on yksinkertaistettu standardissa SFS-EN ISO 14253-2 siten, että standardiepävarmuus saadaan suoraan vaihteluvälin puolikkaasta a kertomalla tämä mainittujen kaavojen nimittäjän neliöjuuren käänteisluvulla. Kaavojen (7), (9) ja (10) nimittäjien neliöjuurien vastaluvut ovat noin 0,6; 0,4 ja 0,3. [14]

2.1.3.5 Yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittäminen

Edellä esitetyillä menetelmillä voidaan määrittää mittausprosessiin vaikuttavien yksittäisten epävarmuuden tekijöiden standardiepävarmuuksia. Jotta standardiepävarmuuksia kyettäisiin hyödyntämään mittausprosessin tuottaman mittaustuloksen luotettavuuden arvioin-

nissa, on määritettävä yhdistetty standardiepävarmuus u_c , joka kuvaa koko mittausprosessin mittausepävarmuutta.

Yhdistetyn standardiepävarmuuden yleinen määritelmä on matemaattisesti monimutkainen ja usein tarpeettoman työläs lähtökohta yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittämiselle. Mikäli mahdollista, on ylimääräisen työn välttämiseksi syytä soveltaa yleisestä määritelmästä tiettyihin erikoistapauksiin soveltuvia kokonaisepävarmuuden laskukaavoja. Tässä työssä ei perehdytä yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittämiseen sen määritelmästä lähtien, vaan esitellään tavanomaisiin mittauksiin johdettuja yksinkertaisempia laskentamenetelmiä. Tarkemmin yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittäminen esitellään esimerkiksi GUM:issa (luku 5). [11]

Yhdistettyä standardiepävarmuutta määritettäessä on erotettava toisistaan riippuvat ja riippumattomat epävarmuuden komponentit. Epävarmuuden komponentti on riippumaton, mikäli mikään toinen epävarmuuden komponentti ei vaikuta siihen. Riippumaton epävarmuuden komponentti voi olla esimerkiksi valmistajan ilmoittama työntömitan tarkkuuden perusteella määritetty standardiepävarmuus. Toisistaan riippuvia epävarmuuden komponentteja voivat olla esimerkiksi kaasun ainemäärää mitatessa paineen, tilavuuden ja lämpötilan mittausepävarmuudet. Vakiolämpötilassa kaasun paine ja tilavuus ovat toisistaan riippuvaisia ja toisaalta lämpötilan muutos vaikuttaa molempiin. [13]

Riippumattomien epävarmuuden komponenttien yhdistetyn standardiepävarmuuden u_c määrittämiseen on raportissa [13] annettu seuraavat kaavat:

Mitattavan suureen laskemiseen käytetään vain yhteen- ja vähennyslaskuja ja suureen yhtälö on muotoa $y = x_1 + x_2 + \dots + x_n$

$$u_c(y) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2} \quad (11)$$

Mitattavan suureen laskemiseen käytetään vain kerto- ja jakolaskuja ja suureen yhtälö on muotoa $y = x_1 * x_2 * \frac{x_3}{x_4} \dots$

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \sqrt{\frac{u_1^2}{x_1^2} + \frac{u_2^2}{x_2^2} + \dots + \frac{u_n^2}{x_n^2}} \quad (12)$$

Mitattavan suureen laskemisessa käytetään myös eksponentteja ja suureen yhtälö on muotoa $y = x_1^a x_2^b \dots x_n^z$

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \sqrt{\frac{a^2 u_1^2(x_1)}{x_1^2} + \frac{b^2 u_2^2(x_2)}{x_2^2} + \dots + \frac{z^2 u_n^2(x_n)}{x_n^2}} \quad (13)$$

Yhtälöissä (11), (12) ja (13) y on mitattavan suureen yhtälö, x_n on mitattavan suureen laskennassa käytettävän suureen estimaatti, u_n on standardi epävarmuuskomponentti ja $|y|$ mitattavan suureen arvon estimaatin itseisarvo. Kaavoja (11 -13) voidaan luonnollisesti soveltaa kaiken muotoisiin mitattavaan suureen yhtälöihin soveltamalla kaavaa (13) eksponentteja sisältävälle yhtälön osalle ja kaavaa (12) kerto- ja jakolaskuja sisältävälle yhtälön osalle niin, että lopulta on jäljellä vain yhteenlaskettavia standardiepävarmuuksia. Mainituiden yhtälöiden avulla pystytään siis määrittämään tavalla A tai B lasketuista standar-

diepävarmuuksista yhdistetty standardiepävarmuus tavanomaisissa mittauksissa, joissa mitattavaan suureeseen vaikuttaa vain toisistaan riippumattomia tekijöitä.

Mikäli mitattavaan suureeseen vaikuttavat epävarmuuden komponentit ovat toisistaan riippuvaisia, tulee yhdistetyn standardiepävarmuuden määrittäminen tutkia aina tapauskohtaisesti hyödyntäen yhdistetyn standardiepävarmuuden määritelmää ja huomioiden komponenttien kovarianssit. Tätä aihetta ei käsitellä tässä työssä vaan tarvittaessa on tukeuduttava kirjallisuuteen (GUM, kappale 5.2). [11]

2.1.3.6 Laajennettu epävarmuus

Yhdistetty standardiepävarmuus u_c (tästä eteenpäin mittausepävarmuus tai epävarmuus) on siis yhtä suuri kuin mittausprosessin mittaustulosten keskihajonta s . Yhden keskihajonnan mittainen alue kattaa suureen hajonnan epävarmuusalueesta 68,27 %. Toisin sanoen standardiepävarmuus kertoo alueen, jolle mittaustulos osuu 68,27 % todennäköisyydellä, mikä on melko huono luotettavuus mittaukselle, sillä tällöin lähes kolmannes mittaustuloksista saattaa olla ilmoitetun epävarmuuden rajojen ulkopuolella. [11]

Jotta epävarmuus saadaan kattamaan suurempi otanta mittauksista, on yhdistettyä standardiepävarmuutta laajennettava kattavuuskertoimella k . Laajennettu mittausepävarmuus epävarmuus on

$$U_p = u_c k \quad (14)$$

Kattavuuskertoimen arvot vastaavat luottamustasoja Taulukko 1 mukaan. Taulukko 1 on esitelty tyypillisimmät käytetyt kattavuuskertoimet ja luottamustasot vastaavuuksineen. Luonnollisesti taulukon 1 kattavuuskertoimia vastaavat luottamustasot pätevät vain, kun oletetaan mittaustulosten jakautuvan normaalijakauman mukaan.

Taulukko 1 Kattavuuskerrointa k vastaavat luottamustasot [11]

Kattavuuskerroin						
k	1	1,645	1,960	2	2,576	3
Luottamustaso						
(%)	68,27	90	95	95,45	99	99,73

Suorakulmaiselle ja puolisuunnikkaan muotoiselle jakaumalle kattavuuskertoimen ja luottamustason yhteyden laskeminen on intuitiivisempaa kuin normaalijakaumalle. Esimerkiksi suorakulmaisen jakauman tapauksessa standardi keskihajonta on yhtälön (7) mukaan muotoa $a/\sqrt{3}$, missä a on jakauman leveyden puolikas. Tällöin 100 % luottamustasoa vastaa luonnollisesti kerroin k , jolla

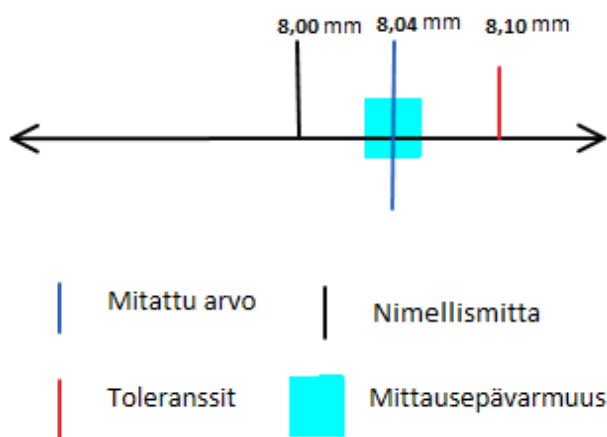
$$\frac{ka}{\sqrt{3}} = a \quad (15)$$

, eli $k = \sqrt{3}$. Tästä voidaan edelleen intuitiivisesti päätellä, että 50 % luottamustasoa vastaa $k = 0,5\sqrt{3}$, 90 % luottamustasoa $k = 0,9\sqrt{3}$ ja niin edelleen [11]. Vastaavasti puoli-

suunnikkaan muotoiselle jakaumalle, jonka keskihajonta on muotoa $\sigma/\sqrt{6}$, saadaan kattavuuskertoimen arvot $\sqrt{6}$:den avulla.

Laajennettu epävarmuus on se epävarmuus, joka ilmoitetaan yhdessä mittaustuloksen kanssa. Yhdessä mittaustulos, laajennettu epävarmuus ja laskennassa käytetty luottamustaso muodostavat kokonaisuuden, jonka perusteella mittaustuloksen luotettavuutta voidaan arvioida ja esimerkiksi todeta onko mitattu suure toleranssien sisällä [5].

Käytännön esimerkkinä mittausepävarmuuden merkityksestä tulkittaessa mittaustuloksen perusteella täyttääkö mitattu ominaisuus sille asetetut vaatimukset voidaan esittää seuraavaa. Teräslevyn nimellispaksuudeksi on määrätty 8,00 mm ja toleranssiksi on annettu (- 0, + 0,10 mm), eli levyn paksuuden tulee olla välillä 8,00 mm – 8,10 mm. Mittaus suoritetaan mikrometriruuville, jonka mittausepävarmuudeksi levyn paksuuden mittaamiseen laboratorio-olosuhteissa on annettu $u = \pm 0,01$ mm kattavuuskertoimella $k = 2$. Mittauksesta saadaan mikrometrin näyttämäksi 8,04 mm. Kuva 4 esittää kyseessä olevaa tilannetta. Kuten kuvasta 4 nähdään, levyn paksuus on toleranssien sisällä. Kun mikrometrin näyttämä on mainittu 8,04 mm ja mittausepävarmuus $\pm 0,01$ mm, $k = 2$, on levyn todellinen paksuus 95,45 % todennäköisyydellä välillä 8,03...8,05 mm. Mikäli mikrometrin näyttämä olisi ollut tasan 8,00 mm, olisi levyn todellinen paksuus välillä 7,99... 8,01 mm. Tällöin levy olisi ollut liian ohut 47,725 % todennäköisyydellä eikä se siten täyttäisi levyn paksuudelle asetettuja vaatimuksia.



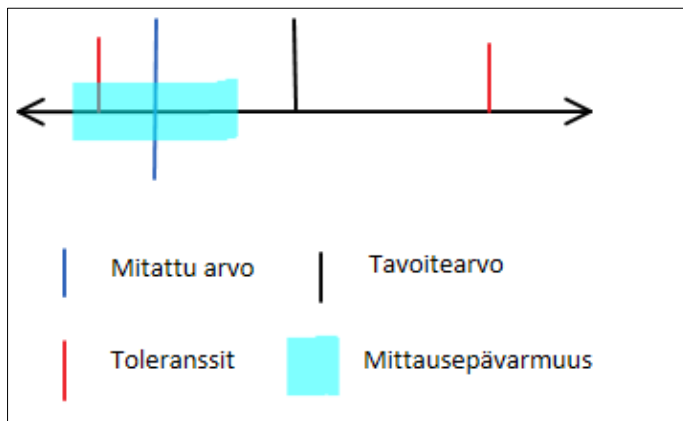
Kuva 4 Mittaustulos mittausepävarmuuksineen suhteessa nimellismittaan ja toleranssiin.

2.1.4 Metrologia osana liiketoimintaa

Metrologia tulisi nähdä yrityksessä tuottavana liiketoimintana, eikä pelkästään kuluja aiheuttavana pakollisena tukitoimintona. Ensinnäkin metrologian eli mittaamisen avulla mahdollistetaan haluttujen tuotteiden valmistus ja oikeudenmukainen kaupankäynti esimerkiksi raaka-aineita ostettaessa. Toiseksi, laadukas metrologiatoiminta yrityksessä mahdollistaa tuotteiden laadun parantamisen, mikä yleensä näkyy suoraan parantuneena asiakastyytyvyytenä ja sitä kautta parempana markkina-asemana. Kolmanneksi laadukkaan metrologiatoiminnan avulla on mahdollista tehostaa merkittävästi yrityksen tuotantoprosesseja. [3]

Kunzmann, Pfeifer jne. käsittelevät artikkelissaan Productive Metrology - Adding Value to Manufacture metrologiaa osana yrityksen tuottavaa liiketoimintaa. Merkittävimpänä aja-

tuksena esitetään teoria, jonka mukaan käyttämällä riittävän tarkkaa mittausprosessia, tuotteen laadun varmistamiseen, voidaan ensinnäkin välttää turhan tarkan valmistusprosessin käyttöä ja toisekseen saadaan tuotteiden hylkäysprosenttia pienennettyä. Epätarkalla mittausprosessilla, jonka mittausepävarmuus on suuri, saatetaan saada mittaustulokseksi toleranssit ylittävä tulos, vaikka todellisuudessa mitattavan suureen arvo on toleranssien sisällä. Tämä saattaa johtaa siihen, että tulkitaan valmistusprosessin olevan liian epätarkka, vaikka todellisuudessa vain mittalaitteen näyttämät heittelevät. Pahimmillaan tällöin turhaan vaihdetaan valmistusprosessi tarkempaan ja kalliimpaan. [3]



Kuva 5 Mittausepävarmuuden suhde toleranssirajoihin

Tuotteiden hylkäysprosenttia pienentävä teoria on perusperiaatteeltaan seuraava. Epätarkalla suuren mittausepävarmuuden mittalaitteella mittaaminen johtaa siihen, että toleranssien sisällä oleviakin tuotteita tulee hylätyiksi ja toisaalta toleranssien ulkopuolella olevia tuotteita hyväksytyiksi. Kuten Kuva 5 selkeästi nähdään, että vaikka mitattu arvo on toleranssirajojen sisäpuolella, ei mittausepävarmuuden vuoksi voida olla varmoja, onko todellinen arvo toleranssirajojen sisäpuolella, niinpä kappale on hylättävä. Toisaalta mikäli mitattu arvo olisi vain hieman toleranssien ulkopuolella, saattaisi todellinen mitta olla hyväksyttävissä rajoissa ja tällöin jouduttaisiin hylkäämään jälleen todellisuudessa kelvollinen tuote. Toisin sanoen, mikäli mittausepävarmuutta saadaan pienennettyä, pienenee hylättyjen tuotteiden määrä ja toisaalta todellisuudessa virheelliset tuotteet saadaan hylättyä entistä suuremmalla varmuudella. Kunzmann jne. esittää kaavan, jolla voidaan arvioida mittalaitteeseen ja mittaamiseen investoidun pääoman tuottoa vertaamalla investoitua summaa mittausprosessin tarkentumisesta syntyneisiin tuottoihin. [3]

2.2 ISO 9001

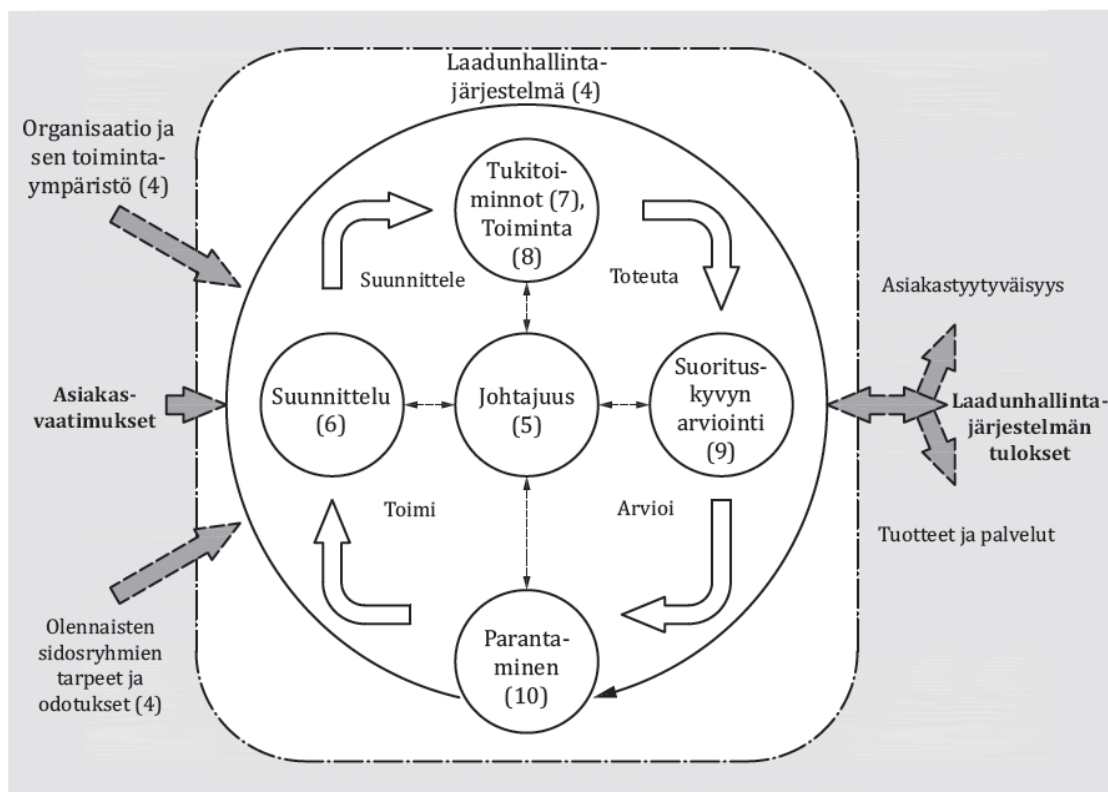
ISO 9001: ”Laadunhallintajärjestelmät. Vaatimukset” -standardi kuuluu ISO 9000 – standardisarjaan. ISO 9000 standardisarja käsittelee laadunhallintajärjestelmiä ja määrittelee niille perusteet, sanaston ja vaatimukset, opastaa organisaation johtamista laadunhallintaan perustavalla toimintamallilla ja ohjeistaa johtamisjärjestelmän auditointia. Standardisarjan keskeisimmät standardit ovat ISO 9000, ISO 9001, ISO 9004 ja ISO 19011. Lisäksi standardisarjaan kuuluu joukko erikoisalueisiin keskittyneitä standardeja kuten ISO 10012. [15]

Laadunhallintajärjestelmiä koskevia standardeja halutaan noudattaa, koska niiden katsotaan tuottavan lisäarvoa organisaation toiminnalle ja siten parantavan organisaation kilpailuasemaa. ISO 9001 sertifiointi onkin usein vaatimus organisaation yhteistyökumppaneita

tai toimittajia valittaessa. ISO 9001 standardia noudattamalla voidaan varmistaa, että asiakkaat ja yhteistyökumppanit tietävät, mitä vaatimuksia organisaation laadunhallintajärjestelmä täyttää ja siten vakuuttaa edellä mainitun siitä, että organisaation toiminta vastaa luvattua. Standardia noudattavalla laadunhallintajärjestelmällä voidaan parantaa kykyä tuottaa asiakkaan, viranomaisten ja lakien vaatimusten mukaisia tuotteita ja palveluita sekä mahdollisuuksia parantaa asiakastytyväänsyyttä. [16]

ISO 9001 esittää organisaation laadunhallintajärjestelmää koskevat vaatimukset. Vaatimusten tavoitteena on varmistaa, että yrityksen laadunhallintaa tehdään järjestelmällisesti, vaikuttavasti ja jatkuvasti parantaen. ISO 9001 ei vaadi, että kaikilla laadunhallintajärjestelmillä tulisi olla samanlainen rakenne tai, että organisaation tulisi käyttää tietyn muotoisia asiakirjoja tai termejä. [16] Oleellista on standardin vaatimusten näkökulmasta, että organisaatio on sitoutunut kehittämään laadunhallintajärjestelmää ja sen vaikuttavuutta.

ISO 9001 perustuu prosessimaiseen toimintamalliin, johon yhdistetään riskiperusteinen ajattelu sekä PDCA -toimintamalli (suunnittele, toteuta, arvioi, toimi). Prosessimaista toimintamallia noudattaessa organisaatio kuvaa toimintansa prosesseina ja näiden vuorovaikutuksina. Eri toimintojen kuvaaminen prosesseina yhdenmukaistaa erilaisten toimintojen kuvaamista ja siten helpottaa toimintojen menestymisen arviointia. Riskiperusteisella ajattelumallilla pystytään arvioimaan niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat organisaation prosessien menestymiseen ja saattavat aiheuttaa prosessien ja prosessien tulosten poikkeamista suunnitelluista. PDCA -malli taas on ISO 9001 standardin ydin. Sen avulla organisaatio varmistaa riittävät resurssit toiminnalleen ja kykenee jatkuvasti parantamaan toimintaansa. [16]



Kaavio 1 Standardin ISO 9001 rakenne PDCA –mallin mukaan. [16]

PDCA -malliin perustuu myös standardin rakenne, joka noudattaa yleistä ISO 9000 sarjan laatustandardien rakennetta. Rakenteen mukaisesti ISO 9001 standardi määrittelee vaatimuksia organisaation toimintaympäristölle, johtajuudelle, suunnittelulle, tukitoiminnoille, toiminnalle, suorituskyvyn arvioinnille ja parantamiselle. Edelliset vastaavat myös standardin lukujen otsikoita. Standardin rakennetta on havainnollistettu Kaavio 1, josta selvästi nähdään kuinka standardin vaatimukset tähtäävät organisaation toiminnan jatkuvaan havainnointiin ja kehittämiseen PDCA -mallin mukaisesti.

ISO 9001 on erittäin laajasti sovellettu laatustandardi. ISO:n mukaan globaalisti ISO 9001 sertifioituja yrityksiä on yli miljoona yli 170 maassa [17]. Uusimmassa standardin versiossa ISO 9001:2015 on painotettu erityisesti riskiperusteista ajattelua, organisaation johdon sitoutumista sekä huomioitu edellisiä versioita paremmin erikokoiset organisaatiot siten, että pientenkin organisaatioiden on mahdollista hyötyä standardin noudattamisen tuomista menetelmistä. [18]

2.3 AQAP 2110

AQAP 2110 ed. 3 on Pohjois-Atlantin liiton, NATO:n standardi, joka määrittelee laadunvarmistusvaatimukset suunnittelulle, kehitykselle ja tuotannolle. AQAP 2110 pohjautuu ISO 9001:2008 standardiin ja näiden rakenteet ovat yhtenevät. AQAP 2110 sisältää ISO 9001 standardin, mutta tekee tähän tiettyjä lisäyksiä tai muutoksia tai jättää huomiotta joitain ISO 9001 standardin kohtia. Samoin ISO 9000 standardin vaatimukset ja sanasto pätevät AQAP 2110 standardissa tietyin poikkeuksin. [2]

Tämän standardin tarkoituksena on taata, että organisaatio (toimittaja) pystyy toimittamaan tilaajalle tuotteita, jotka täyttävät tilaajan sopimusvaatimukset. AQAP 2110 esittämät poikkeukset ISO 9001 standardiin ovat hyvinkin vaativia, eivätkä sovellu monessakaan tapauksessa siviilikaupankäyntiin. Vaatimukset onkin tarkoitettu varmistamaan, että tuotteiden laadunvarmistustoimet ovat riittävällä tasolla takaamaan sotilaskäyttöön tarkoitettujen tuotteiden laatuvaatimukset. [2]

Merkittävimmät vaatimukset AQAP 2110 standardissa kohdistuvat toimittajan velvollisuu-teen antaa tietoja tilaajalle tai GQAR:ille (government quality assurance representative, organisaation asettama laadunvarmistuksen edustaja) eli tilaajan valtuuttamalle laadunvalvojalle. Esimerkkeinä voidaan mainita AQAP 2110 vaatimus edellä mainittujen tahojen oikeudesta alihankintasopimusten kopioihin (AQAP 2110 kohta 7.4.1), mikä ei ole tavanomaista siviilikaupankäynnissä. Standardin kohdassa 7.4.2 taas vaaditaan organisaatiota vyöryttämään AQAP 2110 vaatimukset myös organisaation alihankkijoille, mikä tarkoittaa periaatteessa myös sitä, että organisaation alihankkijoiden on noudatettava SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimuksia. [2] Toisaalta AQAP 2009 mukaisesti AQAP 2110 standardia ei tarvitse soveltaa kaikille tuotteille. AQAP 2110 standardia tarvitsee soveltaa vain, jos tuote vaatii suunnittelua tai kehitystä. Tämä tarkoittaa, ettei AQAP 2110 vaatimuksia ja siten SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksia tarvitse soveltaa niihin alihankkijoiden toimittamiin tuotteisiin, joita ei ole varta vasten suunniteltu tai kehitetty organisaation tarpeisiin. [19] Vaatimukseen sisältyy myös vaatimuksia muun muassa konfiguraation hallinnasta, tämän suunnittelusta sekä sopimus- ja NATO vaatimusten sisällyttämisestä auditointeihin. [2]

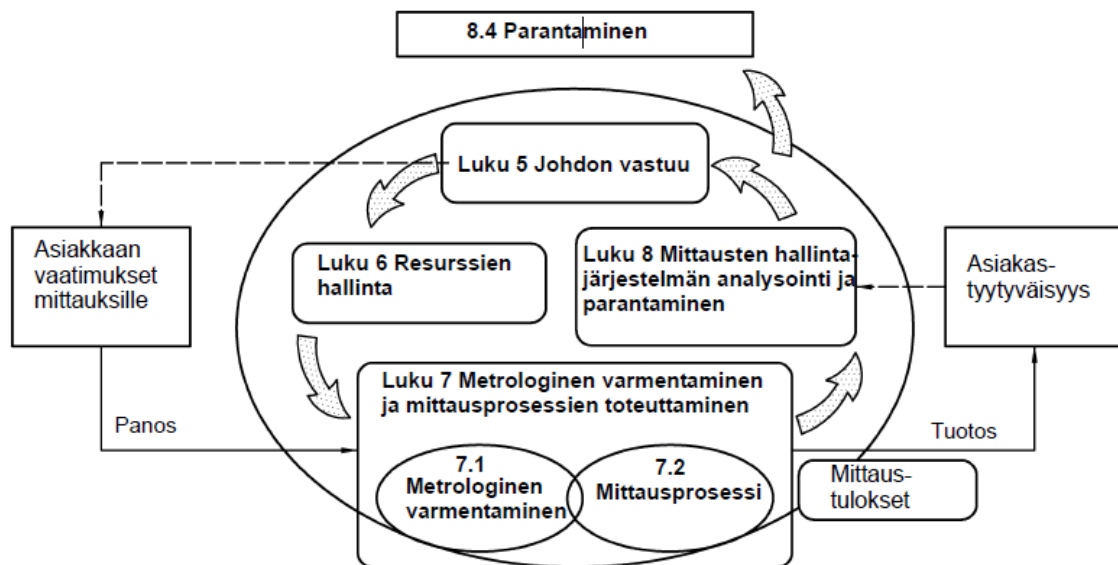
Tämän diplomityön kannalta merkittävin lisäys ISO 9001 standardiin esitetään kohdassa 7.6. AQAP 2110 vaatii, että mittaus- ja kalibrintijärjestelmän tulee täyttää ISO 10012 standardin vaatimukset, mikä onkin ollut sysäys tämän diplomityön teettämiselle. [2]

2.4 ISO 10012

SFS-EN ISO 10012:2003 ”Mittausten hallintajärjestelmät. Vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteistoille” kuuluu ISO 9000 standardisarjaan samoin kuin ISO 9001:2015 standardi. [15] Kyseessä on SFS-EN ISO 10012 standardin uusin ja voimassa oleva versio. Tätä standardia noudattamalla varmistetaan, että organisaation mittauksen hallintajärjestelmä pystyy varmistamaan mittauslaitteiden ja –prosessien soveltuvuuden aiottuun käyttöön ja siten asiakkaiden metrologisten vaatimusten täyttymisen. Tällä pystytään hallitsemaan tuotteiden laatuvaatimusten täyttymättömyyden ja virheellisten mittaustulosten riskejä sekä varmistetaan, etteivät virheellisten mittaustulosten perusteella tehdä vääriä johtopäätöksiä, jotka saattavat johtaa asiakkaan vaatimusten täyttymättömyyteen. [7]

SFS-EN ISO 10012:2003 noudattaa rakenteeltaan samankaltaista, laatustandardien rakenteen mukaista rakennetta kuin ISO 9001 ja AQAP 2110 [2, 7, 16]. Standardin vaatimusten mukaista mittauksen hallintajärjestelmää käytetään osana organisaation yleistä toimintajärjestelmää ja sen avulla varmistetaan, että organisaation mittauksen metrologiset vaatimukset tulevat täytetyiksi. Standardissa ohjataan ISO 9001 standardin mukaisesti tarkastelemaan mittauksia erityisinä prosesseina joiden tarkoituksen on tukea tuotteiden laatua. [7]

Kaavio 2 esittää SFS-EN ISO 10012:2003 mukaisen mittauksen hallintajärjestelmän rakenteen. On selvästi nähtävissä, että Kaavio 2 on hyvin samankaltainen Kaavio 1 kanssa. SFS-EN ISO 10012:2003 mukainen mittauksen hallintajärjestelmä noudattaa siis myös PDCA mallia, kuten kaaviosta 2 on pääteltävissä. Mittauksen hallintajärjestelmä osana organisaation ISO 9001 mukaista laadunhallintajärjestelmää tulee olla prosessi, jossa pyritään jatkuvasti parempaan. Oleellista on, että hallintajärjestelmässä ilmenevät virheet havaitaan, analysoidaan ja tehdään tarvittavat toimenpiteet näiden virheiden korjaamiseksi. Pyritään siis jatkuvasti parempiin mittausprosesseihin, jotka tuottavat tarpeeseen nähden laadukasta ja virheetöntä mittaustietoa organisaation tuotteiden laadun ja siten asiakastyytyväisyyden parantamiseksi. [7, 16]



Kaavio 2 SFS-EN ISO 10012:2003 mittausten hallintajärjestelmän malli. [7]

SFS-EN ISO 10012:2003 mukainen mittausten hallintajärjestelmä tähtää siihen, että mitaukset toteutetaan suunnitelmallisesti mittaustulosten metrologinen jäljitettävyyden huomioon. Tosin sanoen, pyritään suunnittelemaan ja ennakoimaan kaikki mittausprosessiin liittyvät osa-alueet minimoiden poikkeamia aiheuttavat tekijät. Samoin tällä hallintajärjestelmällä tehdään organisaation metrologisesta toiminnasta osa laatuja järjestelmää ja varmistetaan organisaation johdon sitoutuminen. [7] Kuten luvussa 2.1.4 todetaan, metrologia ja mittaaminen nähdään usein yrityksessä ”pakollisena pahana”, vaikka laadun varmistaminen mittaamalla on tuotteen arvoa nostavaa toimintaa. Mittausten hallinnoiminen järjestelmällisesti osana laadunhallintajärjestelmää mahdollistaa selkeiden tunnuslukujen tuottamisen organisaation johdolle ja siten mittaus- ja metrologiatoiminnan kannattavuuden objektiivisen arvioinnin. [3] SFS-EN ISO 10012:2003 varmistaa myös mittausten metrologisen jäljitettävyyden ja muun mittausprosessiin liittyvän tiedon säilymisen vaatimalla tallenteita kaikista mittausten hallintajärjestelmään, mittausprosesseihin, mittalaitteisiin ja muihin sellaisiin tehtävistä muutoksista. Koko mittausten hallintajärjestelmän yksi tärkeimpiä tehtäviä onkin määrittellä ne tallenteet ja tuotokset, joita luotettavien mitaustulosten tuottamiseen ja seuraamiseen tarvitaan. [7]

SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset esitetään taulukoituna liitteessä 1. Vaatimuksia eritellään tarkemmin niissä tämän työn kohdissa, joita vaatimukset koskevat. Standardin vaatimusten soveltamisessa mittausten hallintajärjestelmän kehittämiseen hyödynnettiin Ranskan standardisoimisjärjestön AFNOR:in opasta ”Guide d’application de la norme NF EN ISO 10012 «Systèmes de management de la mesure - Exigences pour les processus et les équipements de mesure»” [20] ISO 10012 mukaisen mittausten hallintajärjestelmän implementoinnista käytäntöön.

3 Vaatimukset mittausten hallintajärjestelmälle

Tässä luvussa kuvataan SFS-EN ISO 10012:2003 (myöhemmin tässä työssä tähän viitataan sanalla ”standardi”, ellei muuta mainita) standardin vaatimat mittausten hallintajärjestelmän osa-alueet ja niitä koskevat vaatimukset. Kutakin osa-aluetta koskevat vaatimukset esitetään viittaamalla liitteessä 1 esitettyihin standardin SFS-EN ISO 10012:2003 kohtiin. Käsitelty standardin kohta on merkitty tekstissä aaltosulkeisiin, esimerkiksi ”{5.1}”.

Tässä luvussa selvitetään ja määritetään ne tiedot, joita kunkin osa-alueen osalta dokumentoida samoin kuin se, mihin dokumentteihin tai järjestelmiin nämä tiedot tallennetaan. Edellä mainittujen pohjalta luodaan tarvittavat dokumentit, jotka esitellään tämän diplomityön tuloksissa. Lisäksi tässä luvussa selvitetään ne toiminnot ja menettelyt, jotka tulee standardin mukaan kuvata tai ohjeistaa.

Mittausten hallintajärjestelmään voidaan standardin mukaisesti katsoa liittyvän seuraavat osa-alueet: organisaation johto, metrologiatoimi ja sen johto, mittalaitteiden hallinta, mittausprosessit, mittausten hallintajärjestelmän seuranta ja parantaminen. Mittausten hallintajärjestelmän osa-alueet voidaan luokitella kolmeen kokonaisuuteen: hallinto- ja tukitoiminnot, mittausprosessien hallinta ja mittalaitteiden hallinta.

Hallinto- ja tukitoiminnot sisältävät organisaation johdon toiminnot sekä mittausten hallintajärjestelmän seurannan ja parantamisen. Hallinto- ja tukitoiminnot toimivat organisaation ISO 9001 mukaisen laatujärjestelmän mukaisesti ja toiminta on määritelty organisaation toimintajärjestelmässä.

Mittausprosessien hallintaa johtaa metrologiatoimen johto. Mittausprosessien hallinta on mittausten hallintajärjestelmän ydin ja sillä varmistetaan, että mittausprosesseilla pystytään todentamaan asiakkaan vaatimukset ja todennuksen jäljitettävyys.

Mittalaitteiden hallinnalla pyritään varmistamaan tarvittavan informaation saatavuus ja ylläpitäminen koskien mittalaitteita sekä hallitsemaan mittalaitteiden kalibrointia ja metrologista varmennusta. Mittalaitteiden hallinnalla varmistetaan mittalaitteiden tuottamien mittaustulosten yhteys kansallisiin ja siten kansainvälisiin mittanormaaleihin.

Mittausten hallintajärjestelmää koskevat menettelyt ja ohjeet dokumentoidaan, ja dokumenttien säilytettävyyttä, ajantasaisuutta ja kelpoisuutta hallitaan PLS:n toimintajärjestelmän mukaisesti, jotta täytetään standardin kohtien {6.2.1} ja {6.2.3} vaatimukset menettelyohjeista ja dokumenteista.

3.1 Organisaation ja metrologiatoimen johto sekä metrologiatoimi

ISO 9001 standardin mukaisesti mittausten hallintajärjestelmää, joka on osa yrityksen laatujärjestelmää, johtavien tahojen on oltava sitoutuneita kehittämään mittausten hallintajärjestelmää ja sen vaikuttavuutta [16]. Samoin organisaation on varattava tarvittavat resurssit vaikuttavan mittausten hallintajärjestelmän kehittämiseksi, toteuttamiseksi ja ylläpitämiseksi. Standardin luvussa 5 ”Johdon vastuu” määritellään, mistä organisaation johto on vastuussa ja mitä organisaatiolta vaaditaan. Oleellisimpana vaatimuksena on kohdassa {5.1} vaatimus ”Metrologiatoimen johdon tulee luoda mittausten hallintajärjestelmä”.

SFS-EN ISO 10012:2003 mukaan organisaation johdon on määriteltävä metrologiatoimi ja varattava tälle riittävät resurssin mittausten hallintajärjestelmän luomiseksi ja ylläpitämiseksi {5.1}. Lisäksi organisaation johdon on katselmoitava mittausten hallintajärjestelmää sen riittävyyden, tehokkuuden ja sopivuuden varmistamiseksi. Myös tähän on varattava riittävät resurssit {5.4}. Kaikkien mittausten hallintajärjestelmässä toimivien henkilöiden vastuut on määriteltävä.

Mittausten hallintajärjestelmän kehittämiseksi PLS on varannut resurssit tilaamalla tämän diplomityön ja varaamalla riittävästi yrityksessä työskentelevien asiantuntijoiden aikaa käytettäväksi tämän työn tekemiseen. Metrologiatoimi ja sen vastuiden jakautuminen PLS:n organisaatiossa määritellään tässä työssä. Standardin vaatimista asioista vastaavien henkilöiden tarve selvitetään seuraavissa luvuissa ja näiden vastuualueet määritetään mittausten hallintajärjestelmää kuvaavassa prosessikaaviossa.

3.2 Mittausprosessit

Mittausten hallintajärjestelmän keskiössä ovat mittausprosessit. Mittausprosessi tarkoittaa sarjaa toimintoja, joilla määritetään suuren arvo [4]. Mittausprosessi käsittää seuraavat tehtävät:

- metrologisten vaatimusten määrittämisen asiakkaan, viranomaisen tai säädöksen mittausta koskevista vaatimuksista
- mittausmenetelmän ja mittauslaitteiston valinnan perustuen metrologisiin vaatimuksiin
- mittauslaitteiston todentamisen,
- mittauksen ympäristöolosuhteiden määrittämisen
- mittausepävarmuuden määrittämisen
- mittaajilta vaadittavien pätevyyksien ja koulutusten määrittämisen
- itse mittauksen suorittamisen valmisteluineen
- mittausprosessissa esiintyvien poikkeamien käsittelyn

Standardin kohdassa {7.2} annetaan mittausprosesseja koskevat vaatimukset. Standardin kohdassa {7.2.2} annetaan vaatimukset mittausprosessin suunnittelulle. Mittausprosessien tulee täyttää määritetyt metrologiset vaatimukset ja mittausprosessi tulee suunnitella siten, että ehkäistään virheelliset mittauks tulokset ja mahdolliset puutteet havaitaan välittömästi.

Standardi vaatii myös määrittelemään missä laajuudessa standardia sovelletaan. Toisin sanoen on määritettävä, mitkä mittausprosessit ja mittauslaitteistot sisällytetään mittausten hallintajärjestelmään huomioiden, että asiakkaan metrologiset vaatimukset tulevat täytyiksi {4}. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään mittausprosessien eri osa-alueet ja niitä koskevat vaatimukset. Alalukujen perusteella voidaan kirjoittaa standardin kohdan {7.2.4} vaatima täydellinen kuvaus mittausprosessista.

3.3 Metrologisten vaatimusten määrittäminen

Standardi vaatii, että asiakkaan mittausta koskevat vaatimukset määritetään ja muutetaan metrologisiksi vaatimuksiksi {5.2}. Tällä vaatimuksella varmistetaan, että asiakkaan vaatimusten toteutuminen todennetaan soveltuvilla ja asianmukaisilla mittausmenetelmillä. Mittausmenetelmän on mitattava sellaista suuretta, joka kuvaa asiakkaan vaatiman ominaisuuden toteutumista. Usein asiakkaan vaatimus ei suoraan kohdistu johonkin ominaisuuteen.

teen ja tästä syystä asiakasvaatimukset on muutettava metrologisiksi vaatimuksiksi. Metrologiset vaatimukset kuvaavat mittaukselta ja mittalaitteelta vaadittavia ominaisuuksia ja sitä, mitä oikeastaan mitataan. Metrologisia vaatimuksia voivat olla esimerkiksi mittalaitteen mittaama suure, mittausalue, resoluutio, mittausepävarmuus jne. Metrologisia vaatimuksia ovat myös sellaiset ympäristöolosuhteita koskevat vaatimukset, jotka vaikuttavat mittaustuloksiin. Ympäristöolosuhteiden on oltava sellaiset, että mittaustulos kuvaa mahdollisimman hyvin sitä ominaisuutta, joka halutaan todentaa. Esimerkiksi ajoneuvon renkaspaineita mitattaessa on renkaiden lämpötilan oltava ajotilannetta vastaava. [7]

AFNOR:in implementointiohjeessa on annettu esimerkki asiakasvaatimuksen muuttamisesta metrologisiksi vaatimuksiksi. Esimerkissä kuvataan, kuinka asiakkaan vaatimus ajoneuvon akustisesta miellyttävyydestä muutetaan metrologisiksi vaatimuksiksi. [20] Tämän esimerkin mukaisesti tullaan muuttamaan asiakkaiden vaatimukset metrologisiksi vaatimuksiksi tarvittaessa. Usein asiakkaiden vaatimukset ovat konkreettisempia ja täsmällisempiä kuin esimerkissä ja siten myös metrologisten vaatimusten määrittäminen suoravaikeisempaa. Joissain tapauksissa asiakas voi myös itse määrittää metrologiset vaatimukset mittausprosessille. Metrologisten vaatimusten määrittämisestä kirjoitetaan työohje, jolla varmistetaan, että kyseinen standardin vaatimus täytetään.

Implementointiohjeesta [20] ja lähteen [3] mittaussuureen johtamista käsittelevän osion perusteella voidaan johtaa seuraavat vaiheet metrologisten vaatimusten määrittämiseen:

1. Asiakkaan vaatimuksen määrittäminen
2. Vaatimuksen analysointi koskemaan tuotteen ominaisuuksia tai ominaisuutta
3. Mitattavan tuotteen ominaisuutta kuvaavan suureen määrittäminen
4. Sellaisten olosuhteiden määrittäminen, joissa ominaisuuden tai vaatimuksen on toteuduttava
5. Mitattavan suureen hyväksyttävän arvon määrittäminen
6. Hyväksyttävän mittausepävarmuuden määrittäminen
7. Metrologisten vaatimusten määrittäminen edellisiin perustuen

3.4 Mittausten hallintajärjestelmän soveltamisala

Standardin mukaan {4} on määritettävä ne mittausprosessit ja mittauslaitteistot, joita SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset koskevat. Standardin vaatimusten soveltamisalan määrittämisessä tulee huomioida riski siitä, etteivät asiakkaiden vaatimukset tule täytetyiksi. PLS:ssä suoritetaan suuri määrä erilaisia mittauksia jokapäiväisessä toiminnassa, ei ole järkevää ulottaa standardin vaatimuksia koskemaan kaikkia mittauksia, sillä se ei välttämättä ole tarkoituksenmukaista, eikä paranna asiakastytyväisyyttä tai tuotteiden laatua. Näin ollen vaatimuksia tuullaan soveltamaan vain kriittisiin mittausprosesseihin

Standardin vaatimuksia noudattavien mittausprosessien valitsemiseksi määritetään kriteereitä, joiden perusteella mittausprosesseja arvioidaan. Implementointiohjeessa on esitetty esimerkki mittausprosessien arvioinnista. Esimerkissä mittausprosesseja arvioidaan muun muassa niiden yleisyyden, hinnan ja haastavuuden perusteella. [20] Mittausprosessit voidaan jakaa myös useampaan luokkaan kriteerien perusteella luokittelemalla ja suorittaa niin sanottu ABC-analyysi.

ABC-analyysillä voidaan luokitella mittaukset standardin vaatimuksia noudattaviin (A-luokka), tavanomaisiin (B-luokka) ja vähä merkityksellisiin mittauksiin (C-luokka). Jaon

tavoitteena on välttää ylimääräistä työtä esimerkiksi mittausprosessien määrittelyssä. Perusajatuksena on, että A-luokan mittaukset kuuluvat mittaustenhallinta järjestelmää ja siten noudattavat standardin vaatimuksia, B-luokan mittauksissa käytetään aina kalibroituja mittalaitteita ja C-luokan mittaukset ovat niin merkityksettömiä, että ne voidaan suorittaa myös kalibroimattomilla mittalaitteilla.

3.5 Mittausmenetelmän ja mittauslaitteiston valinta

Mittausmenetelmä valitaan määritettyjen metrologisten vaatimusten perusteella siten, että mittausmenetelmä ja käytettävä mittalaite täyttävät metrologiset vaatimukset ja niin, että mittaus on ylipäättään mahdollista suorittaa. Standardi ei velvoita tai ohjeista minkään tietyn suureen mittausmenettelyä tai sen mittaamisessa käytettäviä mittalaitteita. Standardi ei myöskään ota kantaa millaisilla menetelmillä mittausmenetelmä tai mittauslaitteisto tulisi valita. Valinnat voidaan siis tehdä esimerkiksi asiantuntemukseen tai muihin standardeihin perustuen. [7]

Standardin kohdassa {4} vaaditaan, että kaikki mittausten hallintajärjestelmässä käytettävät mittalaitteet ja –laitteistot tulee varmentaa. Metrologisesta varmentamisesta kerrotaan tarkemmin alaluvussa 3.10. Varmennuksen tarkoituksena on varmistaa oikeiden mittalaitteiden käyttö metrologisiin vaatimuksiin perustuen. Esimerkiksi, mikäli metrologisissa vaatimuksissa on vaatimus mittauksen suorittamisesta -20 °C lämpötilassa, ei voida valita mittalaitetta, jonka käyttölämpötila on rajattu $10 - 30\text{ °C}$ asteeseen. Mittalaitteen on täytettävä metrologiset vaatimuksen myös esimerkiksi resoluution ja mittaalueen osalta. Siksi määritettyjen metrologisten vaatimusten tulee olla ensisijainen lähtökohta mittalaitteen valinnalle. Vastaavasti myös mittausmenetelmän on täytettävä metrologiset vaatimukset eli on mitattava sitä, mitä metrologisissa vaatimuksissa vaaditaan.

Mittausmenetelmän ja mittauslaitteiston soveltuvuuden varmistamiseksi tehdään siis metrologinen varmennus, jota käsitellään alaluvussa 3.10. Jotta voidaan myöhemmin arvioida mittausmenetelmän ja –laitteiston valintaa, on valintaprosessista tehtävä tallenteet, joissa kuvataan miten menetelmän ja laitteiston on ajateltu täyttävän metrologiset vaatimukset. Tällä taataan, että mittaustulosten jäljitettävyyttä mittanormaaleihin ja mittauslaitteiston soveltuvuutta mittausprosessiin voidaan arvioida myös jälkikäteen

3.6 Ympäristöolosuhteet ja vaikutussuureet

Standardissa ympäristöolosuhteilla tarkoitetaan kaikkia niitä ympäristön tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa mittaustulokseen. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi vaikutussuureet, mitaajan osaaminen ja mittaussympäristö. Vaikutussuureilla tarkoitetaan standardissa sellaisia suureita, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin. Näitä ovat esimerkiksi lämpötila, ilman kosteus tai magneettikenttä.

Standardin kohdassa {6.3.1} vaaditaan, että mittauslaitteistoja tulee käyttää tunnetussa ja valvotussa ympäristössä tarvittavissa määrin. Kohdassa {6.3.2} taas vaaditaan dokumentoimaan ja huomioimaan kaikki sellaiset ympäristöolosuhteet ja vaikutussuureet, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin tai mittausprosessin tehokkuuteen. Näitä tekijöitä on myös valvottava ja tiedot tästä tallennettava. Edellisistä seuraa vaatimus mittaukseen vaikuttavien ympäristöolosuhteiden ja vaikutussuureiden tunnistamisesta ja arvioimisesta etukäteen. Vaatimus olosuhteiden valvonnasta tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi lämpötilaa on valvottava mittauksen aikana ja lämpötila on kirjattava ylös. Kohdassa {6.3.1} vaaditaan myös, että vaikutussuureita valvovat laitteet on sisällytettävä mittausten hallinta-

järjestelmään, mistä seuraa, että esimerkiksi käytettävien lämpömittareiden on oltava metrologisesti varmennettuja.

Jotta metrologiset vaatimukset voidaan täyttää, tulee mittausprosessin ympäristöolosuhteet valita mittaukseen soveltuviksi. Mittausprosessia suunniteltaessa ottaa huomioon esimerkiksi millaisissa olosuhteissa mitattavaa kohdetta yleensä käytetään ja vaikuttavatko ympäristöolosuhteet mitattavaan suureeseen siten, että mittaustulokset eivät vastaa niitä olosuhteita, joissa mittaustuloksen kuvaavaa ominaisuutta koskevien vaatimusten on suunniteltu täyttyvän. Esimerkiksi, jos mitattavaa kohdetta käytetään yleensä -20 °C lämpötilassa, tulee arvioida, toteutuuko mitattava ilmiö lainkaan samalla tavalla huoneenlämpötilassa ja miten tämä lämpötilaero voidaan kompensoida mittaustuloksissa. Mittausprosessin kuvaukseen tuleekin sisällyttää selkeästi vaatimukset ympäristöolosuhteille.

3.7 Mittausepävarmuus

Standardin kohdassa {7.3.1} vaaditaan määrittämän mittausepävarmuus kullekin mittausprosessille. Mittausepävarmuus on määritettävä ennen metrologista varmennusta ja mittausepävarmuus voi toimia mittalaitteen valintaperusteena. Metrologisissa vaatimuksissa tulee yleensä ottaa kantaa mittaukselta vaadittavaan mittausepävarmuuteen ja mittausprosessin tulee täyttää tämä vaatimus. Mittausepävarmuus tuleekin määrittää määritettäessä mittausprosessia koskevia tietoja ja kirjata mittausepävarmuus mittausprosessin tallenteisiin.

Mittausepävarmuuden määrittämistä käsitellään tämän työn luvussa 2.1.3. Standardi vaatii myös, että mittausepävarmuuden arviointi tulee tallentaa. Tästä syystä epävarmuuden laskelmissa käytetyt kaavat ja menetelmät tulee dokumentoida. Samoin kuin lähteet, joita on käytetty epävarmuuden määrittämisessä. Mittausepävarmuus voidaan määrittää yleisesti tietyllä mittalaiteryhmälle (esimerkiksi työntömitat 0-200 mm), mutta tällöinkin on epävarmuuden arviointi tehtävä kullekin kyseessä olevalle mittausprosessille erikseen. Mittausprosessissa saattaa olla tekijöitä, jotka kasvattavat mittauksen epävarmuutta riippumatta mittalaitteesta. Tällaisessa tapauksessa mittalaitteelle yleisesti määritetty epävarmuus toimii vain yhtenä mittausprosessin mittausepävarmuuden komponenttina.

Joissain tapauksissa mittausmenetelmä saattaa olla mittalaitteen valmistajan määrittelemä. AQAP 2110 mukaisesti myös mittalaitteen toimittajalle on vyörytettävä SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset, mikäli mittalaitteen toimittaja on suunnitellut tai kehittänyt mittalaitteen tai menetelmän PLS:in tarpeisiin. [2, 19] Tällöin mittalaitteen valmistajalta on saatava tieto mittausmenetelmän epävarmuudesta ja mahdollisuuksien mukaan sen määrittämisessä käytetyistä tiedoista. Edelleen on kuitenkin arvioitava, vaikuttaako jokin muu seikka mittausepävarmuuteen mittausprosessissa, jossa tällaista mittalaitetta ja mittausmenetelmää käytetään.

Epävarmuuden määrittämisellä pyritään varmistamaan mittaustulosten luotettavuus. Epävarmuuden arvioinnista saattaa myös selvitä tekijät, jotka vaikuttavat merkittävästi mittaustuloksiin. Tämän perusteella voidaan tarvittaessa muokata mittausprosessia tai ottaa paremmin huomioon ne seikat, jotka saattavat vääristää mittaustuloksia. Mittausepävarmuus ja sen määrittäminen on sisällytettävä mittausprosessia kuvaaviin tallenteisiin {7.2.4}.

3.8 Pätevyydet ja koulutus

Standardin kohdassa {7.2.1} vaaditaan ottamaan mittausprosessissa huomioon mittauksen suorittavien henkilöiden pätevyys ja kohdassa {6.1.2} määritetään mitä asioita pätevyyttä arvioidessa tulee ottaa huomioon. Standardin mukaan henkilöiden saamasta koulutuksesta ja pätevyyksistä on tehtävä tallenteet. Käytännössä tallenteet voivat olla esimerkiksi kurssitodistuksia tai esimiehen tekemä arvio henkilön ammattitaidosta. Tallenteiden on oltava käytettävissä mittausprosessia määritettäessä, jotta voidaan tarvittaessa hankkia mittauksessa tarvittavaa erityistä ammattitaitoa koulutuksin tai hankkimalla ammattitaitoisia henkilöitä.

Standardin kohdan {6.1.2} mukaan tulee varmistaa, että mittausprosesseissa ja yleensä mittauksen hallintajärjestelmässä toimivat henkilöt ovat osoittaneet kykynsä annettujen tehtävien suorittamiseen. Kaikki vaadittavat erityiset ammattitaidot tulee määritellä ja metrologia toimen johdon tulee varmistaa, että henkilöt saavat tarvittavan koulutuksen ja ovat tietoisia vastuistaan ja velvollisuuksistaan. Koulutuksen tehokkuutta on arvioitava ja arviointi dokumentoitava. Samassa standardin kohdassa vaaditaan myös, että mittauksen hallintajärjestelmässä toimivan henkilön tulee ymmärtää toimintansa merkitys tuotteen laatuun. Esimerkiksi mittauksen suorittavan henkilön kohdalla mittauksen tulee ymmärtää miksi mittaus tehdään ja mihin mitattava suure vaikuttaa.

Mittauksen suorittavilta henkilöiltä vaadittavaan pätevyyteen tulee ottaa kantaa mittausprosessia määritettäessä. Vaadittava pätevyys määritellään muun muassa mittauksen haastavuuden mukaan huomioiden erityiset ammattitaitovaatimukset. Voidaan esimerkiksi asettaa vaatimukseksi jonkin tietyn koulutuksen käyminen tai vain perehtyminen sopivaan lähteaineistoon. Koulutuksen tehokkuutta voidaan arvioida esimerkiksi kokein. On myös varmistettava, että vain määritetyt pätevyydet saavuttaneet henkilöt suorittavat mittauksia {7.2.3}.

3.9 Mittalaitteiden hallinta

Mittalaitteiden hallinta muodostaa mittauksen hallintajärjestelmässä oman aliprosessinsa. Mittalaitteiden hallinnan tarkoituksena on varmistaa standardin vaatimat mittalaiteresurssit, mittalaitteiden metrologinen jäljitettävyys, jäljitystietojen säilyminen ja paikkansa pitävyys, sekä pitää kirjaa mittalaitteista ja niiden tilasta. Mittalaitteiden hallintaprosessi lähtötilana on mittalaite, jota ei ole kalibroitu, kalibroinnin jakso on erääntymässä tai mittalaite on vaurioitunut. Prosessin tuloksena saadaan kalibroitu mittalaite, joka on käytettävissä ja jonka tila ja tiedot ovat saatavilla.

Mittalaitteiden hallintaan liittyy myös standardin vaatimukset ohjeistaa mittalaitteiden vastaanotto, käsittely, kuljetus, säilytys ja lähettäminen {6.3.1}. Mainitut toimenpiteet tulee mittalaitteiden hallinnassa tehdä organisaation määrittämien ohjeiden mukaan. Mittalaitteita saatetaan lähettää esimerkiksi kalibroitavaksi PLS:in ulkopuolisiin kalibrintilaboratorioihin. Ohjeistamisella varmistetaan mittalaitteiden metrologisten ominaisuuksien muuttumattomuus kuljetusten aikana. Ohjeet tulee sisältyä mittalaitteiden lähettämisestä vastaavan henkilön työohjeisiin.

3.9.1 Mittalaiterekisteri

Mittalaiterekisterin tarkoituksena on ensisijaisesti pitää kirjaa PLS:in mittalaitteista. Mittalaiterekisteriin kirjataan kaikki ne tiedot, joita standardi vaatii mittalaitteista tallennettavan.

Mittalaiterekisteri toimii myös työkaluna hallittaessa mittalaitteiden metrologista varmennusta ja kalibrointia.

Standardi vaatii, että mittausprosesseissa käytettävistä mittalaitteista on tallennettava seuraavat tiedot (vastaava standardin kohta hakasulkeissa):

- Tietokoneohjelmat, joita käytetään mittausten hallintajärjestelmässä {6.2.2}
- Mittauslaitteistoa koskevat menettelyohjeet {6.2.4}
- Metrologisen varmennuksen tila {6.2.4}
- Mittauslaitteiston tunnus {6.3.1}
- Metrologiseen varmennukseen liittyvät tiedot, rajoitukset ja erityisvaatimukset {7.1.1} {7.1.4}
- Kuvaus ja laitteistokohtainen tunniste, jossa on laitteiston valmistaja, tyyppi, sarjanumero, jne. {7.1.4}
- Määritetty metrologisen varmennuksen aikaväli {7.1.4}
- Metrologisen varmennuksen menettelyohjeen tunniste {7.1.4}
- Laitteiston kalibrointiin liittyvät epävarmuudet {7.1.4}
- Yksityiskohdat mahdollisista huoltotoimenpiteistä, kuten tehdyistä virityksistä, kunnostuksista tai muutoksista {7.1.4}
- Tallennetun informaation oikeellisuudesta vastuussa olevan henkilön tunniste {7.1.4}
- Yksilöllinen tunniste kalibrointitodistuksista ja raporteista, sekä muista asiaankuuluvista dokumenteista {7.1.4}
- Todiste kalibroinnin tulosten jäljitettävyydestä {7.1.4}
- Kalibroinnin tulokset, jotka on saatu mahdollisen virityksen, muutoksen tai korjauksen jälkeen ja tarvittaessa myös ennen viritystä, muutosta tai kunnostamista {7.1.4}

Mittalaiterekisteriin on lisäksi tallennettava tiedot siitä, missä mihin mittausprosessiin tai prosesseihin mittalaite on varmennettu. Standardi vaatii, että mikäli mittalaite on varmennettu vain tiettyyn mittausprosessiin, on valvottava, ettei sitä oteta muuhun käyttöön. {6.2.4}. Mittalaitteiden hallinta huolehtii myös laitteistojen viritysten muuttumattomuuden valvonnasta sinetöimällä mittalaitteet tarvittaessa, kuten standardi vaatii {7.1.3}.

3.9.2 Kalibrointi

Kalibrointi on tärkeä osa metrologista varmennusketjua, kuten tämän työn luvussa 2.1.2 on kerrottu. Standardin kohdassa {7.3.2} annetaan vaatimukset mittausten hallintajärjestelmässä käytettävien mittalaitteiden metrologisesta jäljitettävyydestä ja siten vaatimus mittalaitteiden kalibroinnista. Standardi vaatii, että mittalaitteiden kalibroinnissa on viitattava asianmukaiseen primäärinormaaliin tai SI-järjestelmän luonnonvakioon. Sopimussuhteisiin perustuvia mittanormaaleita tulee välttää.

Kalibrointi tulee suorittaa kalibrointiohjeiden mukaisesti. Kalibrointiohjeiden taas tulee perustua standardeihin tai yleisesti hyväksyttyihin asianmukaisiin menetelmiin. Kalibroinnista tulee aina kirjoittaa kalibrointitodistus, josta ilmenee ainakin kalibroinnin päivämäärä, kalibroinnin tulos ja arvio kalibroinnin epävarmuudesta sekä käytetyn kalibrointiohjeen tunnus [21]. Mittalaitteiden kalibrointilaboratorioille vaatimukset asettaa SFS-EN ISO 17025 standardi [21] ja kalibrointitoiminnan kuvaaminen ei kuulu sinänsä mittausten hal-

lintajärjestelmälle, joten kalibroinnin vaatimusten mukaisuutta ei tarkastella tässä laajemmin.

Kalibrointi on voimassa vain määrätyn ajanjakson. Kalibroinnin voimassaoloaika voi perustua mittalaitteen kalibroinnin historiatietoihin. Lähtökohtana voimassaoloajan määrittämiseen voidaan pitää sitä, että kalibrointiväliä voidaan pidentää, mikäli mittalaitteen metrologiset ominaisuudet eivät ole kalibrointien väliaikoina muuttuneet ja kalibrointiväliä tulee lyhentää, mikäli ominaisuudet ovat muuttuneet. Kalibrointijakson muuttamisessa tulee tukeutua asianmukaisiin ohjeisiin ja standardeihin.

3.10 Metrologinen varmentaminen

Metrologisella varmentamisella tarkoitetaan mittalaitteen tiettyyn mittausprosessiin soveltuvuuden varmentamista. Metrologinen varmentaminen sisältää kalibroinnin ja todentamisen. Kalibrointi tulee olla suoritettuna ennen todentamista, jotta mittalaitteen metrologiset ominaisuudet ovat tiedossa ja mittalaitteen näyttämän jäljitettävyyden varmistettu. Kaikki mittauksen hallintajärjestelmässä olevat mittalaitteet tulee varmentaa {4}. Metrologiselle varmentamiselle on annettu vaatimukset standardin kohdassa {7.1}.

Käytännössä metrologinen todentaminen tarkoittaa sitä, että varmistetaan valitun mittalaitteen soveltuvuus kyseessä olevaan mittausprosessiin. Arvioitavia ominaisuuksia ovat ensisijaisesti mittausprosessin metrologisissa vaatimuksissa esitetyt vaatimukset eli esimerkiksi on todennettava, että mittalaite mittaa oikeaa suuretta, oikealla mittausalueella riittävällä resoluutiolla ja täyttää kaikki muutkin vaatimukset. Samoin on todennettava, että mittalaitteen mittausepävarmuus on sopivalla tasolla. Metrologisten vaatimusten lisäksi on tarkastettava myös esimerkiksi ympäristötekijöitä, kuten mahtuuko mittalaitteella mittaamaan kohdetta tai onko mittauksen suorituslämpötila mittalaitteen valmistajan ilmoittamalla käyttölämpötila-alueella.

Mittausprosessia kuvatessa on tehtävä tallenteet metrologisesta varmennuksesta. Tallenteisiin on standardin mukaan {7.1.4} sisältyä tarpeen mukaan seuraavaa:

- Mittauslaitteiston kuvaus ja laitteistokohtainen tunniste, jossa on laitteiston valmistaja, tyyppi, sarjanumero, jne.
- päivämäärä, jolloin metrologinen varmennus on saatu valmiiksi
- metrologisen varmennuksen tulos,
- määritetty metrologisen varmennuksen aikaväli
- metrologisen varmennuksen menettelyohjeen tunniste
- määritetty suurin sallittu virhe (tai virheet)
- merkittävät ympäristöolosuhteet ja toteamus tarpeen mukaan tehdyistä korjauksista
- laitteiston kalibrointiin liittyvät epävarmuudet
- yksityiskohdat mahdollisista huoltotoimenpiteistä, kuten tehdyistä virityksistä, kunnostuksista tai muutoksista
- mahdolliset käyttörajoitukset
- metrologisen varmennuksen tehneen henkilön tunniste
- tallennetun informaation oikeellisuudesta vastuussa olevan henkilön tunniste
- yksilöllinen tunniste (kuten sarjanumero) kalibrointitodistuksista ja raporteista sekä muista asiaankuuluvista dokumenteista
- todiste kalibroinnin tulosten jäljitettävyydestä
- metrologiset vaatimukset aiotulle käytölle

- kalibroinnin tulokset, jotka on saatu mahdollisen virityksen, muutoksen tai korjauksen jälkeen ja tarvittaessa myös ennen viritystä, muutosta tai kunnostamista [7]

Tallenteilla voidaan osoittaa, miten mittauslaitteiston on ajateltu täyttävän metrologiset ja muut mittauslaitteistoa koskevat vaatimukset. Metrologisella varmennuksella perustellaan valitun mittauslaitteiston käyttö määrittetyssä mittausprosessissa. Varmennuksen tallenteiden perusteella voidaan jälkikäteen arvioida, onko mittauslaitteiston valinnassa tehty jokin virhe, jos mittauslaitteisto alkaa tuottamaan tai on jatkuvasti tuottanut vääriä mittaustuloksia.

Myös metrologinen varmennus on tehtävä ennalta suunnitelluin aikavälein. Metrologisen varmennuksen voimassaolojakson pituus voi olla sama kuin kalibroitijakson pituus. Metrologisen varmennuksen aikavälit voidaan määrittää samoin menetelmin kuin kalibroinnin jakson pituudet. Toistuvassa metrologisessa varmennuksessa varmistetaan, että mittalaite täyttää edelleen sille asetetut vaatimukset. Tällä voidaan täyttää standardin kohdan {7.1.2} vaatimukset metrologisen varmennuksen aikavälin pituuden määrittämisestä ja muuttamisesta.

3.11 Mittausten hallintajärjestelmän seuranta ja parantaminen

Standardin kohdissa {8.1} ja {8.2} annetaan vaatimukset mittausten hallintajärjestelmän seurannalle ja auditoinnille. Standardin mukaan on suunniteltava ja toteutettava seuranta, analysointia ja parantamista, jotta varmistetaan mittausten hallintajärjestelmän standardin mukaisuus ja vaikuttavuus.

Mittausten hallintajärjestelmää tulee auditoida sen tehokkuuden selvittämiseksi {8.2.1}. Auditoinnit on suunniteltava ja toteutettava. Auditointien tulokset raportoidaan organisaation johdolle ja tallennetaan samoin kuin auditoinnin perusteella tehdyt muutokset. Auditoinneissa havaitut poikkeamat on poistettava ilman tarpeetonta viivettä. {8.2.3} Metrologiatoimen tulee seurata asiakastyytyväisyyttä, jotta voidaan varmistua asiakkaiden metrologisten vaatimusten täyttymisestä. {8.2.2}

Standardin kohdassa {5.4} vaaditaan, että organisaation johdon on katselmoitava mittausten hallintajärjestelmää jatkuvan riittävyyden, tehokkuuden ja sopivuuden varmistamiseksi. Katselmointeihin on varattava riittävät resurssit ja metrologiatoimen on katselmusten tuloksia hyödyntäen tarvittaessa muutettava mittausten hallintajärjestelmää, parannettava mittausprosesseja ja katselmoitava laatutavoitteita. Johdon katselmuksien perusteella tehtävät muutokset tulee tallentaa. Standardin kohdassa {5.3} vaaditaan organisaation laatutavoitteiden määrittämistä. Laatutavoitteiden toteutumisen arviointi on osa metrologiatoimen keinoista seurata mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuutta ja riittävyyttä.

Vaatimukset katselmuksista, auditoinneista ja asiakastyytyväisyyden seuraamisesta kuuluvat myös ISO 9001 standardin vaatimuksiin ja siten niiden tulee kuulua ISO 9001 mukaiseen laatujärjestelmään [16]. Tällöin myös mittausten hallintajärjestelmän katselmoinnit, auditoinnit ja asiakastyytyväisyyden seuraaminen voidaan integroida organisaation olemassa olevaan laatujärjestelmään. SFS-EN ISO 10012:2003 standardin tuomat erityisvaatimukset tulee kuitenkin päivittää organisaation menettelyohjeisiin, jotta varmistetaan mittausten hallintajärjestelmälle asetettujen vaatimusten täyttyminen.

3.12 Poikkeamat

Standardi vaatii, että poikkeamat on havaittava ja poikkeamiin on reagoitava välittömästi {8.3.1}. Poikkeamalla tarkoitetaan mittausten hallintajärjestelmässä poikkeavaa mittausprosessia {8.3.2}, mittalaitetta {8.3.3} tai mittaustulosta. Poikkeava mittausprosessi tai mittalaite eivät toimi kuten niiden on suunniteltu toimivan ja tällöin ne tuottavat virheellisiä mittaustuloksia. Poikkeava mittaustulos saattaa johtua edellisistä, mutta myös poikkeavasta mitattavasta kohteesta tai esimerkiksi poikkeavista mittaolosuhteista. Mittausten tavoitteena on luonnollisesti mahdollisten poikkeavien tuotteiden havaitseminen, eli poikkeavan tuotteen tapauksessa mittausprosessi on toiminut toivotulla tavalla. Joissain tapauksissa kuitenkin ei voida tietää onko mitattava kohde poikkeava vai tuottaako mittausprosessi väärä mittaustuloksia.

Mittauslaitteistojen kohdalla poikkeaman voi aiheuttaa mikä tahansa syy, joka saattaa johtaa mittauslaitteiston metrologisten ominaisuuksien muuttumiseen niin, ettei mittauslaitteisto enää täytä sille asetettuja metrologisia vaatimuksia siinä mittausprosessissa, johon se on metrologisesti varmennettu. Tällaisia syitä ovat esimerkiksi mittauslaitteiston vahingoittuminen, ylikuormitus tai altistuminen pölylle, lialle tai muille vaikutussuureille.

Mikäli mittauslaitteiston metrologisten ominaisuuksien epäillään tai tiedetään muuttuneen, on mittalaite varmennettava uudelleen. Mikäli mittauslaitteiston metrologisia ominaisuuksia ei kyetä palauttamaan, on mittalaite merkittävä selkeästi siten, ettei sitä enää käytetä kyseisessä mittausprosessissa. Mittauslaitteisto voidaan kuitenkin varmentaa muuhun mittausprosessiin, jonka metrologiset vaatimukset mittauslaitteisto edelleen täyttää. On joka tapauksessa varmistuttava siitä, ettei poikkeavaa mittauslaitteistoa käytetä, jos ei ole varmaa, että mittauslaitteisto täyttää mittausprosessin metrologiset vaatimukset.

Poikkeamien hallinnan tavoitteena on, että jokaisen poikkeaman juurisyy selvitetään ja varmistetaan, ettei sama poikkeama ilmene uudelleen. Poikkeamien käsittely on yksi ISO 9001 mukaisen laatujärjestelmän osa-alueista ja siten mittausten hallintajärjestelmän poikkeamien hallinta on syytä noudattaa organisaation poikkeamien hallinnan menettelyjä [16]. Käsittämällä mittausten hallintajärjestelmän poikkeamat laatujärjestelmän mukaisesti saadaan poikkeaman käsittelystä asianmukaiset tallenteet ja poikkeamien käsittely etenee siten, että oikeat henkilöt käsittelevät poikkeamat. Myös poikkeamista ilmoittamisen kynnyks madaltuu, kun kaikki organisaation poikkeamat käsitellään saman järjestelmän mukaisesti.

3.13 Vaatimukset alihankkijoille

AQAP 2110 ed.3 standardi vaatii, että organisaation on vietävä sovellettavat sopimukselliset vaatimukset myös organisaation alihankkijoille. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli asiakas vaatii organisaatiolta AQAP 2110 standardin noudattamista ja siten myös ISO 10012:2003 standardin mukaista mittausten hallintajärjestelmää, on organisaation vaadittava myös alihankkijoiltaan ISO 10012:2003 standardin noudattamista AQAP 2009 standardissa kuvatulla tavalla. [2, 19] Toisaalta SFS-EN ISO 10012:2003 vaatii standardin kohdassa {6.4}, että organisaation metrologiatoimen johdon on määritettävä vaatimukset alihankkijoiden toimittamille tuotteille ja palveluille. Samoin vaaditaan alihankkijoiden arvioimista ja arviointien tallentamista määritettyjen ja dokumentoitujen vaatimusten täyttämiskyvyn perusteella.

Voidaan katsoa, että tavanomaisessa tilanteessa mittauksen hallintajärjestelmän osalta AQAP 2110 ja SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimukset täyttyvät, kun alihankkijoille asetetaan sellaiset mittausprosesseja koskevat vaatimukset, jotka varmistavat alihankkijoiden mittausprosessien tuottamien mittaustulosten oikeellisuuden, toistettavuuden ja jäljitettävyyden SFS-EN ISO 10012:2003 standardin tarkoittamalla tavalla. Myös voidaan rajoittaa mitä alihankkijoiden toimittamia tuotteita vaatimukset koskevat. Samaan tapaan kuin organisaation omassa toiminnassa, ei ole järkevää ulottaa mittauksen hallintajärjestelmän vaatimuksia koskemaan kaikkia alihankkijoiden suorittamia mittausprosesseja, vaan on syytä määrittää kriittiset mittausprosessit, joihin vaatimuksia sovelletaan.

AQAP 2110 vaatimusta organisaation velvollisuudesta vyöryttää vaatimukset myös alihankkijoille, voidaan mittauksen hallintajärjestelmän osalta soveltaa SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimusten mukaisesti ja toisaalta huomioida AQAP 2009 ohjeet AQAP 2110 standardin soveltamisesta tuotteisiin, jotka on erikseen suunniteltu tai kehitetty organisaation tarpeisiin. [2, 19] ISO 10012 standardin mukaisen mittauksen hallintajärjestelmän vaatiminen jokaiselta alihankkijalta ei ole järkevää, ja toisaalta standardin vaatimusten täyttämisen valvominen teettäisi paljon työtä, mikäli organisaatiolla on suuri määrä alihankkijoita.

4 PLS:in mittausten hallintajärjestelmä

Mittausten hallintajärjestelmän kehitystyö perustui PLS:ssä vallitsevaan lähtötilanteeseen, jonka pohjalle SFS-EN ISO 10012 standardin mukainen mittausten hallintajärjestelmä rakennettiin. Standardin vaatimuksien täyttämiseksi määritettiin mittausten hallintajärjestelmää kuvaava prosessi, josta selviää mittausten hallinnan eri vaiheet mittaustarpeen tunnistamisesta mittaustulosten raportointiin mittausten hallintajärjestelmän seuranta ja parantaminen huomioiden. Prosessin eri vaiheiden toteutumiseksi kirjoitettiin menettelyohjeita, joiden perusteella PLS:n mittauksiin liittyvää toimintaa ohjataan täyttämään standardin vaatimukset. Seuraavassa esitellään lähtötilanne ja standardin vaatimuksien täyttämiseksi laaditut toimenpiteet ja ohjeet.

Tässä luvussa viitataan liitteessä 1 taulukoituihin standardin kohtiin esittämällä standardin kohtaa vastaava numero aaltosuluissa, esimerkkinä: ”Tämä alaluku täyttää standardin kohdan {7.2.1} vaatimuksen mittausta suorittavien henkilöiden pätevyyden kuvaamisesta.”

4.1 Lähtötilanne

Tätä työtä aloitettaessa PLS:in toiminta ei täyttänyt kaikilta osiltaan SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksia. Yrityksen toimintajärjestelmään oli kuvattu mittausten hallintajärjestelmää kuvaava prosessi ja toimintaa ohjasi mittausten hallintajärjestelmän ja mittalaitteiden hallinnan menettelyohje. Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus ainakin osittain kuvasi yrityksen käytäntöjä mittaustarpeiden, mittausten suunnittelun ja toteuttamisen kannalta. Mittausten hallintajärjestelmä oli kuitenkin PLS:ssä käsittänyt lähinnä mittalaitteiden hallinnan ja kalibroinnin. Järjestelmällistä mittausten hallintaa mittausten laadun ja vaikuttavuuden seuraamiseksi ja kehittämiseksi ei ollut tehokkaasti tehty.

Mittauksia ei ollut käsitelty yrityksessä standardin tarkoittamina mittausprosesseina ja näin ollen mittausprosesseista ei myöskään löytynyt standardin tarkoittamia täydellisiä mittausprosessien erittelyjä. Mittauksista tehtyjen kuvausten ja muun dokumentaation taso oli metrologiselta laadultaan vaihtelevaa. Selkeitä käytäntöjä mittausprosessien dokumentoinnille ei ollut. Kaikkia mittausprosesseja oli yrityksessä käsitelty saman tasoisina siten, että käytettävien mittalaitteiden oli pitänyt olla kalibroituja, mutta toisaalta mittalaitteiden sopivuutta mittaukseen ei ollut systemaattisesti tarkasteltu. Metrologista varmennusta ei ollut siis standardin tarkoittamalla tavalla tehty, eikä siis luonnollisesti myöskään varmennuksen tallenteita.

Monissa mittauksissa mittaustulosten jäljitettävyydessä oli puutteita. Useissa mittausraporteissa tiedot käytetyistä mittauslaitteista, -olosuhteista tai mittausta koskevista ohjeista ja määräyksistä olivat puutteelliset. Kuitenkin useimmiten ainakin käytettyjen mittalaitteiden yksilöintitiedot oli tallennettu. Merkittävimpänä puutteena kriittiseksi määritettyjen mittausprosessien mittaustulosten raportoinnissa oli mittausepävarmuuden arvion puuttuminen mittaustuloksista.

Mittaustulosten raportointia ei ollut yleisesti ohjeistettu. Mittaustulosten luotettavuuden, jäljitettävyyden ja todistusarvon kannalta oli näitä tekijöitä kehitettävä vastaamaan standardin vaatimuksia, jotta varmistettiin asiakkaiden ym. vaatimusten täytyminen. Myös ympäristöolosuhteiden ja vaikutussuureiden huomioiminen mittauksissa oli usein siinä määrin ylimalkaista, ettei niiden vaikutuksia voitu ainakaan jälkikäteen tallenteiden perusteella arvioida. Mittaustulosten jäljitettävyyden lisäksi dokumenttien jäljitettävyydessä oli

kehitettävää. Esimerkiksi mittaussuunnitelman tai –ohjeen löytäminen mittausraportin tietojen avulla oli usein haastavaa, koska viittauksia mainittuihin ei ollut tehty järjestelmällisesti.

Mittalaitteiden kalibrointi oli yrityksessä ulkoistettu. Osan kalibroinneista alihankkija suoritti kuitenkin PLS:n tiloissa. PLS:n tiloissa toiminut alihankkija vastasi myös mittalaiterekisterin ylläpidosta sekä mittalaitteiden kutsumisesta kalibroitavaksi. Käytännössä alihankkijalta oli ostettu työntekijä toimimaan mittalaittevastaavana, joka työskenteli tiiviissä yhteistyössä PLS:n henkilökunnan kanssa. Monet mittalaitteet kuitenkin kalibroitiin ulkoisissa kalibrointilaboratorioissa. Kalibroinnista vastaava alihankkija vastasi myös ulkoisissa laboratorioissa kalibroitavien mittalaitteiden toimittamisesta kalibrointiin ajallaan. Yleisesti mittalaitteiden kalibroinnit oli järjestetty standardin tarkoittamalla tavalla. Myös PLS:in omat työntekijät huolehtivat joidenkin mittalaitteiden kalibroinneista.

PLS:n toimintajärjestelmä täytti SFS-EN ISO 9001 ja AQAP 2110 vaatimukset lukuun ottamatta mittausten hallintajärjestelmää. Näiden standardien mukaisen toimintajärjestelmän voitiin hyvin katsoa soveltuneen muokattuna täyttämään SFS-EN ISO 10012:2003 standardin kohdan {8} vaatimukset mittausten hallintajärjestelmän seurannasta, parantamisesta, auditoinnista ja poikkeamien hallinnasta. Olikin järkevään pyrkiä hyödyntämään olemassa olevia toimintatapoja ja menetelmiä SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimusten täyttämiseksi. Standardin kohdan {8} vaatimukset täyttyivät, kun yrityksen toimintajärjestelmän ohjeistuksiin päivitettiin mittausten hallintajärjestelmää koskevat erityisvaatimukset.

Tärkeimpänä kehityskohteenä voitiin nähdä mittausprosessien järjestelmällinen käsittely, jolla varmistettiin standardin vaatimien tallenteiden syntyminen ja säilyminen niissä mittaustulosten prosesseissa, jotka luokiteltiin kuulumaan mittausten hallintajärjestelmään. Tallenteilla varmistettiin myös, että jokaisessa kriittisessä mittauksessa huomioidaan standardin vaatimat seikat ja varmistetaan mittaustulosten jäljitettävyyden. Myös mittausten luokittelu koettiin tärkeäksi kehityskohteeksi, jotta tarvittavaa mittauksiin tehtävää työn määrää saatiin hallittua. Näillä toimilla pyrittiin mittausten laadun parantamiseen ja sitä kautta asiakastytyvyyden parantumiseen.

4.2 Mittausten hallintajärjestelmä PLS:in toimintajärjestelmässä

PLS:in toimintajärjestelmä perustui ISO 9001 standardin mukaisesti yrityksen toiminnan kuvaamiseen erityisinä prosesseina. Konsernin tasoisesti prosessit oli jaettu liiketoimintoihin. PLS:in toimintajärjestelmässä prosessit jakaantuivat pääprosesseihin ja tukiprosesseihin. Pää- ja tukiprosesseja seurasivat erilaiset aliprosessit ja aliprosessien aliprosessit. Toimintajärjestelmä sisälsi muun muassa yrityksen laatujohtamisen (ISO 9001), ympäristöjohtamisen (ISO 14001) ja työturvallisuuteen liittyvät menettelyt. PLS:in toimintajärjestelmä oli ISO 9001:2008, AQAP 2110 ja ISO 14001:2004 sertifioitu.

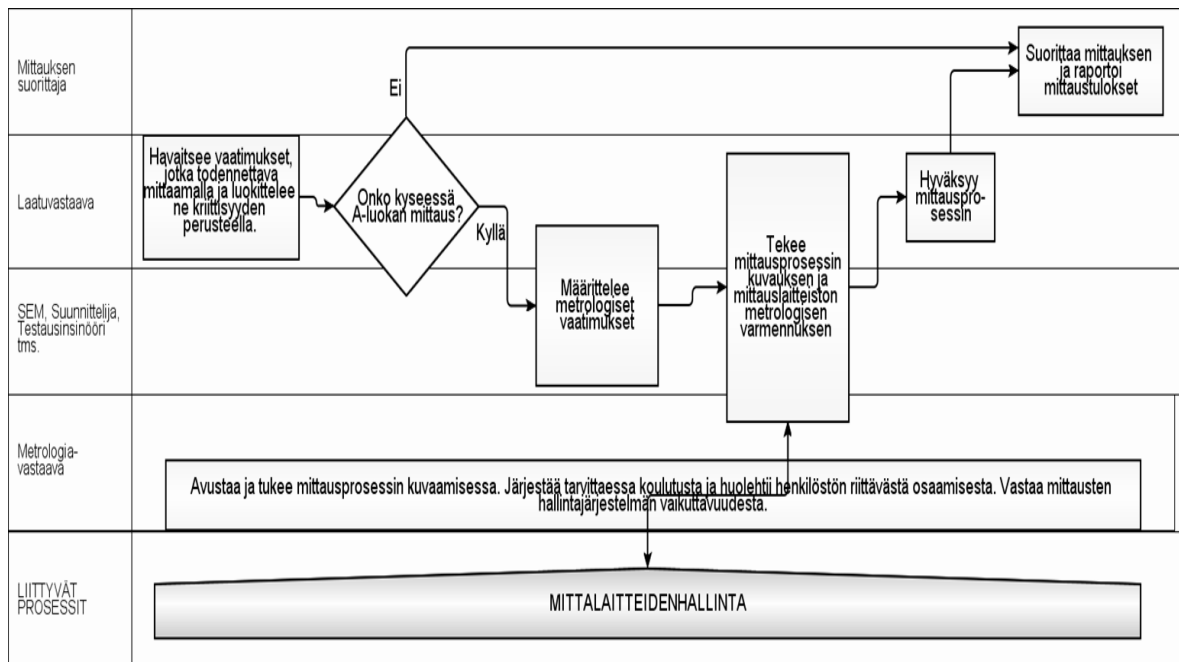
Prosessit oli kuvattu prosessikaavioina, joiden vaiheita oli selvennetty prosessien kirjallisilla kuvauksilla. Prosessien toteuttamista, prosessien vaiheita, työtehtäviä ja muuta PLS:in toimintaa ohjattiin menettelyohjeilla. Menettelyohjeet sisälsivät nimensä mukaisesti tarkemmat yksityiskohtaiset menettelyohjeet eri toimintojen suorittamiseen. Menettelyohjeet siis edelleen tarkensivat prosessikuvauksissa esitettyjä menettelyitä.

Mittausten hallintajärjestelmä kuului PLS:in toimintajärjestelmään. Toimintajärjestelmässä mittausten hallintajärjestelmän päätettiin kuuluvan ”Tuotteistaminen” –pääprosessiin, joka käsitti tuotteen kehittämisen asiakasvaatimuksista lähtien valmiiksi asiakkaalle toimitetuksi tuotteeksi, aina tuotteen elinkaaren päättämiseen asti. Prosessi käsitti aina yhden toimitusprojektin kerrallaan. Mittausten hallintajärjestelmä kuului ”Tuotteistaminen”-prosessiin, koska tämä prosessi sisälsi kaikki ne toiminnot, joissa mittauksia suunnitellaan ja suoritetaan.

Mittausten hallintajärjestelmä on kuvattu Kaavio 3 prosessina, jonka lähtötilanteen syöteenä on asiakkaan, viranomaisen, lain tai muun sellaisen yrityksen tuotetta koskevia vaatimuksia. Vaatimusten täytyminen on osoitettava jollakin keinolla. Mikäli vaatimusten todentaminen päätetään toteuttaa mittaamalla, käynnistyy mittausten hallintaprosessi.

Mittausten hallintaprosessin ensimmäisessä vaiheessa projektin laativastaava havaitsee mittaamalla todennettavat asiakkaan, viranomaisen, lain tai muiden vastaavien perusteella. Laativastaava yhteistyössä projektiryhmän kanssa luokittelee mittausprosessit tämän työn alaluvussa 3.4 esitettävien kriteerien avulla A-, B- ja C-luokan mittausprosesseihin. Mittausprosessien luokittelussa huomioidaan erityisesti riski virheellisistä mittauksien mahdollisista seurauksista. Mittausprosessien luokittelun perusteella mittausprosessin käsittely jatkuu joko mitausten hallintaprosessin mukaisesti tai muiden käytäntöjen mukaisesti. Vain A -luokan mittausprosessit käsitellään mitausten hallintaprosessin mukaisesti.

Prosessin toisessa vaiheessa SEM (System Engineering Manager, projektin teknisten vaatimusten ja verifiointien toteutumisesta vastaava henkilö), suunnittelija tai testi-insinööri määrittää mittausprosessille metrologiset vaatimukset hyödyntäen kirjoitettua metrologisten vaatimusten menettelyohjetta. Metrologisten vaatimusten määrittämisen päätettiin olevan edellä mainittujen vastuulla, koska tuotteen mittaamalla todennettavan ominaisuuden tuntevat parhaiten kyseisen ominaisuuden suunnittelijat. Toisaalta testi-insinöörin vastuulla on myös mittauksen suorittaminen, jolloin hänen voidaan olettaa perehtyneen mitattavaan ominaisuuteen perusteellisesti.



Kaavio 3 Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus

Mittausten hallintajärjestelmäprosessin kolmannessa vaiheessa tehdään mittausprosessin täydellinen kuvaus ja varmennetaan mittauslaitteisto. Mittausprosessin kuvauksen tekeminen sisältää myös mittausprosessin suunnittelun perustuen määritettyihin metrologisiin vaatimuksiin. Mittausprosessin kuvaaminen kuuluu ensisijaisesti SEM:in, suunnittelijan tai testi-insinöörin vastuulle. Tarvittaessa projektin laatuvaastaava voi tehdä mittausprosessin kuvauksen, mikäli laatuvaastavalla on laadunvarmistuksen asiantuntijana paras osaaminen kuvattavaan mittausprosessiin. Metrologiavastaava tukee tarvittaessa mittausprosessin kuvaamisessa metrologian asiantuntijana. Tähän prosessin vaiheeseen liittyy myös mittausten hallintaprosessin aliproessina toimiva mittalaitteiden hallintaprosessi. Mittalaitteiden hallintaprosessista saadaan mittauslaitteiston metrologiseen varmennukseen liittyvät tiedot ja metrologiseen varmennukseen kuuluva mittauslaitteiston kalibrointi tapahtuu mittalaitteiden hallintaprosessissa.

Neljännessä prosessin vaiheessa projektin laatuvaastaava hyväksyy kuvattun mittausprosessin. Laatuvaastaava toimii tässä mittausten hallintajärjestelmän asiantuntijana ja siten laatuvaastavan oletetaan tunnevan mittausten hallintajärjestelmässä ja SFS-EN ISO 10012:2003 standardissa mittausprosesseille asetetut vaatimukset. Mittausprosessin hyväksymisvaiheella varmistetaan, että kuvattu mittausprosessi täyttää vaatimukset.

Mittausten hallintajärjestelmäprosessin viidennessä vaiheessa suoritetaan varsinainen mittaus. Mittauksessa tulee noudattaa mittausprosessin kuvauksessa määrättyjä menettelyitä. Mittauksesta saatavat mittauks tulokset tulee raportoida mittausprosessin kuvauksessa määritellyllä tavalla. Tämä vaihe koskee myös B- ja C-luokan mittausprosesseja. B- ja C-luokan mittausprosesseja ei kuvata SFS-EN ISO 10012:2003 standardin tarkoittamalla tavalla, joten mittausten suorittaminen tulee perustua muihin ohjeisiin. C-luokan mittausprosessien mittauks tuloksia ei raportoida, koska mittaus on mahdollisesti suoritettu kalibroimattomalla mittauslaitteistolla ja siten mittauks tulokset eivät ole jäljitettävissä kansallisiin mittanormaleihin. Näin ollen C-luokan mittauksilla ei ole mitään todistusarvoa.

4.3 Mittausten hallintajärjestelmän soveltamisala ja kriittisten mittausprosessien määrittäminen

Standardin kohdassa {4} vaadittu mittausten hallintajärjestelmän soveltamisalan määrittely tehtiin ABC-analyysiiä käyttäen. Mittausprosessit luokiteltiin A-, B- ja C-luokkiin ennalta määriteltäjiä kriteereitä noudattaen. A-luokan mittausprosessit kuuluvat standardin mukaiseen mittausten hallintajärjestelmään. B-luokan mittausprosessit ovat tyypillisiä ei-kriittisiä tuotannon mittauksia, joista kuitenkin tarvitaan todenmukainen mittaustulos. B-luokan mittaustulosten ei kuitenkaan tarvitse olla jäljitettävissä standardin tarkoittamassa laajuudessa, vaan mikäli B-luokan mittauksessa havaitaan poikkeama, voidaan mittaus korottaa A-luokkaan ja tehdä tarkempi, jäljitettävä mittaus. C-luokan mittausprosessit ovat vain suuntaa antavia mittauksia, joiden mittaustuloksella ei ole mitään vaikutusta tuotteeseen. C-luokan mittauksissa voidaan käyttää kalibroimattomia mittalaitteita. Esimerkiksi pultin halkaisijan mittaaminen oikean pultin koon valitsemiseksi hyllystä voi olla C-luokan mittaus.

Mittausprosessien luokitteluinen eri vaatimusluokkiin oli välttämätöntä, sillä erilaisia mittauksia suoritetaan PLS:ssä kymmeniä, tai jopa satoja. Kaikkien mittausprosessien käsitteleminen standardin tarkoittaman mittausten hallintajärjestelmän vaatimusten mukaisesti vaatisi todella paljon työtä, mutta se ei kasvattaisi mittausprosessien tuomaa lisäarvoa. Standardin vaatimusten soveltaminen kaikkiin mittausprosesseihin saattaisi jopa heikentää mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuutta, jos jokaista vähäpätöistäkin mittausprosessia varten jouduttaisiin tekemään paljon muodollista paperityötä.

Suuri osa mittausprosesseista on sen luontoisia, ettei niiden tuottamien mittaustulosten jäljitettävyydellä ole sellaista merkitystä, että standardin vaatimukset kannattaisi täyttää. Toisaalta luokittelukriteerien avulla voidaan tunnistaa myös sellaiset kriittiset mittausprosessit, jotka intuitiivisesti arvioiden saattavat vaikuttaa merkitykseltömiltä, mutta ovat todellisuudessa hyvin kriittisiä asiakasvaatimusten tai muiden sellaisten täyttymisen todenmisessa.

Mittausprosessien luokitteluista varten määritettiin seuraavat kriteerit, joista kaksi ensimmäistä ovat velvoittavia ja näitä seuraavat luokittelua ohjeistavia.

- *”Mittauksen vaikutus henkilöturvallisuuteen”*
Mikäli mittauksella todennetaan suoraan henkilöturvallisuuteen vaikuttavaa tuotteen tai komponentin ominaisuutta, kuuluu mittausprosessi luokkaan A. Mitattavan ominaisuuden vaikuttaessa henkilöturvallisuuteen, on ehdottoman tärkeää, että mittaustulokset ovat luotettavia. Toisaalta mittausten metrologinen jäljitettävyys on tärkeää, mikäli mittaustulosta käytetään esimerkiksi vastuukysymyksen ratkaisemiseen onnettomuustilanteessa.
- *”Mittaus on asiakkaan, viranomaisen, lain, asetuksen tai muun määräyksen vaatima”*
Standardi vaatii, että mittausten hallintajärjestelmää on sovellettava huomioiden riski siitä, etteivät asiakkaan yms. metrologiset vaatimukset tule täytetyiksi. Tästä syystä asiakkaan, viranomaisen tms. vaatiman mittauksen on kuuluttava luokkaan A. Tällä varmistetaan, että asiakkaan yms. vaatimukset tulevat täytetyiksi.
- *”Mittaustulos vaikuttaa tuotteen toiminnallisuuteen”*
Tällä kriteerillä arvioidaan mitattavan ominaisuuden vaikutusta tuotteen toiminnallisuuteen. Jos ominaisuutta kuvaavan suureen pienikin poikkeama aiheuttaa tuot-

teen toiminnallisuudessa ongelmia voi mittausprosessi kuulua luokkaan A. Pienellä poikkeamalla tarkoitetaan tilannetta, jossa toleranssit ovat vain kertaluokkaa suuremmat kuin mittalaitteen tarkkuus, eli mittalaitteen mittausepävarmuus on huomioitava mittautuloksia tulkittaessa. Jos suureen toleranssit ovat väljät tai mitattava ominaisuus ei suoranaisesti vaikuta tuotteen toiminnallisuuteen voi mittausprosessi kuulua luokkaan B. Jos mitattavalla suurella ei ole merkitystä tuotteen toiminnallisuuteen, voi mittausprosessi kuulua luokkaan C.

- *"Mittaus on haasteellinen"*
Mittausprosessi on haasteellinen, kun mitattavan suureen arvolle asetetut toleranssit ovat pienet, tarvittava mittalaite on erikoinen tai mittauksen suorittamisessa tarvitaan erityistä pätevyyttä tai ammattitaitoa. Mikäli mainituista seikoista täyttyy, voi mittausprosessi kuulua luokkaan A. Mikäli, mittaus on kenen tahansa suoritettavissa ja mittalaitteet kenen tahansa saatavilla, voi mittaus kuulua luokkaan C. Muutoin mittaus voi kuulua luokkaan B
- *"Mittauksen kustannukset"*
Mittauksen kustannuksilla tarkoitetaan suoraan mittaamisesta aiheutuvia kustannuksia, mittaukseen kuluvan ajan tai muiden järjestelyjen aiheuttamasta viiveestä tuotannossa syntyviä kustannuksia. Mikäli mittausprosessin aiheuttamat kustannukset ovat suuret ja mittauksen epäonnistumisesta aiheutuvaa mittauksen uusimista on vältettävä, voi mittausprosessi kuulua luokkaan A. Mikäli mittausprosessista aiheutuvat kulut ovat mitättömiä voi mittausprosessi kuulua luokkaan C. Muutoin mittausprosessi voi kuulua luokkaan B.
- *"Mittautuloksen tarkkuuden vaikutus tuotteen tai komponentin laatuun"*
Tällä kriteerillä arvioidaan mitattavan ominaisuuden vaikutusta tuotteen laatuun. Mittausprosessi voi kuulua luokkaan A, jos mitattavaa ominaisuutta kuvaavan suureen arvon tulee olla täsmälleen vaadituissa rajoissa, jotta laatuvaatimukset täyttyvät. Jos suureen arvossa sallitaan pieniä vaihteluita, vaikka tämä aiheuttaisi myös laatuvahteluita, voi mittausprosessi kuulua luokkaan B. Jos mitattavan suureen arvolla ei ole merkitystä tuotteen laatuun, voi mittausprosessi kuulua luokkaan C.
- *"Kalliin komponentin tai pitkän toimitusajan komponentin laadunvarmistukseen liittyvä mittaus"*
Arvokkaan komponentin on oltava vaatimusten mukainen, jotta sen hinnalle saadaan vastinetta. Vaatimusten mukaisuuden todentamiseksi on todentavien mittautusten oltava laadukkaita. Toisaalta, jos komponentin toimitusaika on hyvin pitkä, korostuu aikaisen virheen havaitsemisen merkitys virheestä johtuvien tuotannon viivästysten ja kustannusten kannalta. Mikäli mittausprosessi liittyy arvokkaan tai pitkän toimitusajan komponentin laadunvarmistukseen, voi mittausprosessi kuulua luokkaan A. Arvoltaan tai toimitusajaltaan tavanomaisen komponentin laadunvarmistukseen liittyvät mittausprosessit voivat kuulua luokkaan B. Jos mittausprosessi ei liity laadunvarmistukseen, se voi kuulua luokkaan C.

Jommankumman kahden ensimmäisestä velvoittavasta kriteeristä täyttyessä mittausprosessi kuuluu lähtökohtaisesti luokkaan A. Tällainen mittausprosessi on kuitenkin mahdollista myös luokitella B-luokkaan, mikäli arvioidaan, ettei mittautulosten laatu vaaranna henkilöturvallisuutta tai kasvata riskiä vaatimuksen täyttymättömyydestä. Tällainen mittausprosessi voi olla esimerkiksi rengaspaineiden mittaus ajoneuvon renkaita täytettäessä. Ajoneuvon rengaspaineet vaikuttavat suoraan henkilöturvallisuuteen, mutta suurikaan mittausepävarmuus (esimerkiksi 30 % nimellisarvosta) ei vielä aiheuta välitöntä vaaraa henkilöille.

Mittausten luokittelua varten luokittelukriteerit, niiden kuvaukset sekä ABC-luokkien kuvaukset kirjoitettiin menettelyohjeksi. Menettelyohjetta tulee soveltaa arvioitaessa asiakkaiden, viranomaisten, lain, muun määräyksen tai tuotesuunnittelun vaatimuksia todentavia mittauksia ja aina kun arvioidaan uutta käyttöön otettavaa mittausprosessia.

Tuotekohtaiset käytössä olleet mittausprosessit kerättiin listoiksi tuotteittain. Listoja ja kunkin tuotteen asiantuntijoita hyödyntäen mittausprosessit arvioitiin ja luokiteltiin kriteerien perusteella ABC-luokkiin. B- ja C-luokkiin luokiteltujen mittausprosessien käsittely päättyi niiden luokitteluun. A-luokan mittausprosesseista valittiin muutama esimerkki, jotka käsiteltiin tässä työssä luodun mittauksen hallintajärjestelmän menettelyjen mukaisesti. Yksi valituista esimerkeistä esitellään luvussa 4.7. Tapausesimerkkien perusteella kirjoitettiin menettelyohjeet, joita noudattamalla mittausprosessit tulevat kuvatuiksi ja määritellyiksi standardin vaatimusten mukaisesti.

4.4 Mittausprosessit ja niiden kuvaaminen

SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimusten ytimessä ovat mittausprosessit. Mittausprosesseja koskevat suoraan tai välillisesti seuraavien standardin kohtien vaatimukset: {5.2, 6.2.1, 6.2.2, 6.2.4, 6.3.1, 6.3.2, 7.1.1, 7.2, 7.3}. Nämä vaatimukset täyttämällä varmistettiin mittausprosessien järjestelmällinen suunnittelu ja hallinta, sekä luotettavat ja jäljitettävät mittaustulokset.

Jotta standardin vaatimukset tulivat täytetyiksi nykyisissä ja mahdollisissa tulevilla mittausprosesseissa kirjoitettiin mittausprosessin määrittelystä ja kuvaamisesta menettelyohje (liite 3), jota noudattamalla standardin vaatimukset mittausprosesseista täyttyvät. Menettelyohjeessa vaadittiin standardin vaatimusten mukaisten asioiden huomioiminen ja tietojen tallentaminen sekä annettiin ohjeistusta näiden tekemiseen.

Mittausprosessin kuvauksen menettelyohjeen perusteella tehty mittausprosessikuvaus täyttää standardin kohdan {7.2.} vaatimukset mittausprosessin täydellisestä erittelystä, suunnittelusta, toteuttamisesta ja tallenteista. Ohjeen alussa luvussa 1 vaadittiin selvittämään mittausprosessin tietoja ja taustoja yleisellä tasolla. Tavoitteena oli, että mittausprosessikuvauksen lukija saisi selvän kuvan siitä, mikä merkitys mittausprosessilla on tuotteen kokonaisuuden kannalta ja mitä vaatimuksia mittausprosessille on asetettu tai mistä vaatimukset tulevat.

Menettelyohjeen luvussa 2 käsiteltiin kaikki mittaukseen liittyvät asiat ja luvun alussa erityisesti mahdollinen mittaukseen liittyvä teoria. Menettelyohjeen alaluvussa 2.1 vaadittiin esittämään mittausprosessille asetetut metrologiset vaatimukset tai määrittämään ne. Metrologisten vaatimusten määrittelyn avuksi kirjoitettiin esimerkkiin pohjautuva menettelyohje helpottamaan vaatimusten määrittelyprosessin ymmärtämistä. Alaluvun 2.1 perusteella kirjattavilla tiedoilla todennetaan standardin kohdan {5.2} vaatimusten täytyminen.

Menettelyohjeen alaluvussa 2.2 ohjataan mittauslaitteiston valinnassa ja kuvauksessa. Menettelyohjeen perusteella kuvattu mittauslaitteisto täyttää standardin kohtien {7.1.4} ja {7.2.4} mittauslaitteistoista tehtäviä tallenteita koskevia vaatimuksia. Menettelyohjeen perusteella valittu mittauslaitteisto täyttää standardin kohdan {7.1.1} vaatimuksen soveltuvuudesta aiotuun käyttöön. Samoin standardin kohtien {7.1.2} ja {7.1.3} vaatimukset huomioidaan tässä alaluvussa.

Menettelyohjeen alaluvussa 2.3 käsiteltiin ympäristöolosuhteiden ja vaikutussuureiden vaikutusten huomioimista mittausprosessissa. Tämän alaluvun ohjeiden mukaan huomioitiin standardin kohtien {7.1.4} ja {7.2} vaatimukset ympäristöolosuhteiden ja vaikutussuureiden huomioimisesta mittausprosesseissa sekä vaatimusten mukaiset tallenteet tai ohjaus tallenteiden syntymiseen.

Menettelyohjeen alaluvussa 2.4 todettiin, että mittausprosessin mittausepävarmuus on arvioitava ja arvioinnista on tehtävä tallenne. Tallenteiden ja mittausepävarmuuden raportointi ohjeistettiin. Näillä todennetaan standardin kohtien {7.3.1} ja {7.2.4} vaatimukset mittausepävarmuuden määrittämisestä ja tallenteista. Mittausepävarmuuden määrittämisestä kirjoitettiin erillinen ohje (liite 4) perustuen GUM:iin [11] ja tehtiin taulukkolaskentaohjelmalla laskuri mittausepävarmuuden määrittämisen helpottamiseksi ja työmäärän pienentämiseksi.

Menettelyohjeen alaluvussa 2.5 vaadittiin selvittämään mittausprosessissa työskentelevien henkilöiden pätevyudet ja tarpeet koulutukselle. Henkilöiden suorittamista koulutuksista ja pätevyyksistä tehdään standardin kohdan {6.1.2} vaatimat tallenteet PLS:n henkilötietojärjestelmään. Tämä alaluku täytti standardin kohdan {7.2.1} vaatimuksen mittauksen suorittavien henkilöiden pätevyyden kuvaamisesta.

Mittausprosessissa käytettävien mittauslaitteistojen on oltava metrologisesti varmennettuja. Tälle vaatimukset annettiin standardin kohdissa {4} ja {7} Menettelyohjeen alaluvussa 2.6 ohjeistettiin standardin tarkoittaman metrologisen varmennuksen tekeminen vertaamalla mittauslaitteiston ominaisuuksia mittausprosessin metrologisiin vaatimuksiin. Alaluvussa ohjeistettiin myös standardin kohdassa {7.1.4} vaadittujen tallenteiden tekemiseen.

Menettelyohjeen luvussa 3 käsiteltiin mittautulosten raportointia. Mittausraporttia päätettiin käyttää standardin kohdan {7.2.3} vaatiman valvonnan työkaluna. Kyseisessä standardin kohdassa lueteltiin olosuhteet, joita tulee valvoa. Mittausprosessin kuvauksen menettelyohjeen mukaisesti näiden olosuhteiden valvontatiedot kirjataan mittausraporttiin. Samoin standardin kohtien {6.2.1, 6.2.2, 6.3.1} vaatimat valvottavat tiedot kirjataan mittausraporttiin. Valvottavia olosuhteita tai tietoja ovat esimerkiksi käytetyt mittauslaitteistot, mittauslaitteistojen metrologisen varmennuksen tila, vaikutussuureet, henkilöstön pätevyys, sovelletut mittausohjeet, mittausprosessin kuvaus ja niin edelleen. Kirjaamalla nämä tiedot mittausraporttiin voitiin todentaa, että mittaus on suoritettu asianmukaisesti ja standardin vaatimukset täytettiin.

Menettelyohjeen luvussa 4 ohjeistettiin standardin kohdan {8.3} tarkoittama mittausprosessien poikkeamien hallinta viittaamalla mittauksen hallintajärjestelmää yleisesti käsittelevään menettelyohjeeseen (liite 2) ja ohjeistettiin kirjaamaan mittausprosessin kuvaukseen muut mittausprosessissa huomioitavat asiat kuten mahdolliset tyypilliset mittausprosessin poikkeamat. Lisäksi menettelyohjeen luvussa 5 ohjeistettiin listaamaan kaikki mittausprosessiin liittyvät dokumentit, mikä helpottaa mittausprosessiin liittyvien dokumenttien hallintaa ja valvontaa.

4.5 Mittalaitteiden hallinta

Mittalaitteita, mittalaitteiden tietoja ja tallenteita sekä kalibrointia koskevien standardin vaatimusten täyttämiseksi mittalaitteiden hallintaprosessi kuvattiin uudelleen ja kirjoitettiin menettelyohje prosessikuvauksen tueksi. Prosessi kuvaa mittalaitteiden hallintaan liittyvät

vaiheet ja ohjaa standardin vaatimusten mukaiseen toimintaan. Mittalaitteiden hallintaprosessilla varmistettiin tarvittavien mittalaitteiden tietojen ja tallenteiden syntyminen, säilyminen ja saatavuus. Samoin varmistettiin mittalaitteiden kalibrointi ja metrologinen varmentaminen ennalta suunnitellusti ajallaan. Mittalaitteiden hallintaprosessi haluttiin erottaa mittausten hallintaprosessista myös siksi, että mittalaitteiden hallintaprosessin kautta käsitellään myös mittauslaitteistot, jotka eivät kuulu mittausten hallintajärjestelmään eli B- ja C-luokan mittausprosesseissa käytettävät mittauslaitteistot. Mittalaitteiden hallinnan prosessikaavio on esitetty liitteessä 5. Lisäksi mittalaitteiden hallinnasta kirjoitettiin työohje, jolla täytetään standardin kohdan {6.3.1} vaatimukset mittalaitteita koskevista menettelyohjeista.

Mittalaitteiden hallinnan prosessikaaviossa vaakarivit kuvaavat kuhunkin rooliin kuuluvaa vastuualuetta. Mittalaitteiden hallinnassa roolit ovat metrologiavastaava, mittalaittevastaava, tarkastaja / tuotannon esimies / kuka tahansa, ulkopuolinen kalibrointiyritys ja uuden mittalaitteen hankkija/toimittaja. Prosessikaaviossa yhtenäinen vaihetta kuvaavia laatikkoja yhdistävän nuolen varsi merkitsee mittalaitetta ja katkoviiva uutta mittalaitetta, jota ei ole vielä otettu käyttöön mittalaiterekisterissä.

Mittalaitteiden hallintaprosessin alkutilassa valvotaan mittalaitteiden kalibroinnin ja metrologisen varmennuksen tilaa mittalaiterekisterin ja mittalaitteisiin kiinnitettyjen varmennuksen tai kalibroinnin päättymisajankohdan kertovien niin sanottujen ”kalibrointitarrojen” perusteella. Kalibrointitarran yhteyteen mittalaitteeseen kiinnitetään tarra, joka erottaa mittausten hallintajärjestelmään kuuluvat mittalaitteet muista mittalaitteista. Kalibrointitarrat ja tarra mittausten hallintajärjestelmään kuulumisesta täyttävät standardin kohdan {6.2.4} vaatimukset metrologisen varmennuksen tilan tunnistuksesta ja mittausten hallintajärjestelmään kuuluvien mittalaitteiden erottamisesta muista mittalaitteista.

Seuraavissa vaiheissa mittalaittevastaava lähettää mittalaitteesta vastaavalle esimiehelle kutsun toimittaa mittalaitte kalibrointiin tai metrologiseen varmennukseen niistä mittalaitteista, joiden kalibroinnin- tai metrologisen varmennuksen jakso on umpeutumassa mittalaiterekisterin tietojen perusteella. Mittalaittevastaavan lähettämän kutsun tai mittalaitteen kalibrointitarran perusteella mittalaitte toimitetaan käytöstä tai varastopaikasta mittalaittevastaavalle.

Kalibroitavaksi tai varmennettavaksi tuodulle mittalaitteelle mittalaittevastaava tekee vastaanottotarkastuksen, jossa varmistetaan, että mittalaitteessa on kaikki siihen kuuluvat osat ja, että mittalaitte toimii asianmukaisesti. Vastaanottotarkastus tehdään myös uudelle mittalaitteelle, jonka esimerkiksi valmistaja on toimittanut PLS:iin. Seuraavassa vaiheessa mittalaittevastaava joko kalibroi mittalaitteen tai lähettää mittalaitteen ulkopuoliseen kalibrointiyritykseen kalibroitavaksi. Ulkopuoliselta kalibrointiyritykseltä PLS:iin palanneelle mittalaitteelle tehdään jälleen vastaanottotarkastus.

Prosessikaavion vaiheessa 10. mittalaittevastaava päivittää mittalaitteen tiedot mittalaiterekisteriin. Tässä vaiheessa varmistetaan, että mittalaiterekisteristä löytyvät standardin vaatimat mittalaitteita koskevat tallenteet tai viittaukset tallenteisiin. Mittalaiterekisteriin tallennettavat tiedot ja näitä koskevat vaatimukset sisältävät standardin kohdat on esitetty tämän työn luvussa 3.9.1. Mittalaitteiden hallinnan menettelyohjeessa on ohjeistettu tarvittavien tietojen tallentaminen. Päivitettyjen tietojen perusteella mittalaiterekisteriin päivitetty myös mittalaitteen seuraava kalibrointiajankohta.

Kalibroinnin jälkeen metrologiavastaava tekee mittalaitteelle metrologisen varmennuksen. Varmennus tehdään, mikäli mittalaite kuuluu mittausten hallintajärjestelmään, eli mittalaitetta käytetään luokan A mittaustilanteissa. Prosessin viimeisessä vaiheessa mittalaitteen käyttäjä tms. noutaa varmennetun mittalaitteen takaisin käyttöön.

Prosessikaavioon kuvattiin metrologiavastaavalle kaksi erillistä vaihetta. Prosessin vaiheessa ”Valvoo mittalaiterekisteriä ja tukee koulutuksella henkilöstön osaamista metrologisen varmennuksen osalta” metrologiavastaava huolehtii, että mittalaiterekisteriä käytetään tarkoituksen mukaisesti. Metrologiavastaavan vastuulla on myös tarvittaessa kouluttaa tai muuten huolehtia organisaation mittauksiin ja mittalaitteiden käsittelyyn liittyvästä osaamisesta. Toisessa metrologiavastaavan vastuulla olevassa prosessin vaiheessa metrologiavastaava tekee tarvittaessa päätökset käyttökelvottomien tai tarpeettomien mittalaitteiden romuttamisesta.

Mittalaiterekisterinä toimii PLS:ssä koko Patria konsernin tasoinen Efecte –järjestelmä. Järjestelmässä kunkin mittalaitteyksilön tiedot on tallennettu mittalaittekortille. Mittalaittekortilta selviävät kaikki mittalaitteeseen liittyvät tiedot mukaan lukien kalibrointitodistukset, varastopaikka, mittalaitetta hallinnoiva henkilö, mittalaitteelle tehty huolto, merkinnot mittalaitteen lähettämisestä tai vastaanottamisesta ja niin edelleen. Mittalaittekortille tallennetaan siis myös standardin kohdan {7.1.4} vaatimia metrologisen varmennuksen tietoja. Mittalaiterekisterissä mittalaitteet voidaan luokitella halutun luokittelujärjestelmän mukaisesti esimerkiksi mitattavan suureen mukaan. Mittalaiterekisteristä haetaan kyselyllä kuukausittain luettelo mittalaitteista, joiden metrologisen varmennuksen tai kalibroinnin jakso on umpeutumassa.

Mittalaiterekisteristä haettavien tietojen perusteella voidaan seurata mittalaitteiden hallintaprosessin tehokkuutta ja vaikuttavuutta. Rekisteristä voidaan esimerkiksi selvittää raporttien avulla kuinka monen mittalaitteen kalibrointi on myöhästynyt tai kuinka nopeasti mittalaite on kalibroitu mittalaitteen kutsumisesta kalibrointiin. Mittalaiterekisterin tietoja voidaan hyödyntää prosessin menestystä mitattaessa.

4.6 Poikkeamien hallinta

Poikkeamien hallitsemiseksi mittaustilanteissa kirjoitettiin liitteessä 2 esitettyyn mittaustilanteiden määritysohjeeseen vaatimus mittaustilanteissa mahdollisesti esiintyvien tyypillisten poikkeamien kirjaamisesta. Samoin mittausten hallintajärjestelmän menettelyohjeeseen kirjattiin poikkeamia käsittelevä ohjeistus.

PLS:in ISO 9001 mukainen toimintajärjestelmä sisältää poikkeamien hallintamenettelyn, mikä on osa jatkuvan parantamisen prosessia. Mittausten hallintajärjestelmän poikkeamien hallinta integroitiin olemassa olevaan poikkeamien hallintaan. Mittausten hallintajärjestelmän poikkeamat käsitellään niin sanotun laatuongelmailmoituksen (LOI) kautta. Poikkeaman havaitsija täyttää PLS:n tietojärjestelmässä LOI:n, mikä käynnistää poikkeaman käsittelyn.

Poikkeaman käsittelyssä metrologiavastaava selvittää, mistä poikkeama johtuu, mitä seurauksia poikkeamalla mahdollisesti on ja onko poikkeama aiheuttanut virheellisiä mittaustuloksia, jotka ovat saattaneet johtaa virheellisiin laatuun vaikuttaviin päätöksiin. Myös poikkeaman korjaamiseen ja vastaavan poikkeaman syntymisen estämiseen tulevaisuudes-

sa otetaan kantaa. Kaikista poikkeaman käsittelyn vaiheista jää tallenne tietojärjestelmään. Näillä poikkeamien hallinnan menettelyillä täytettiin standardin kohdan {8.3} vaatimukset.

4.7 Tapausesimerkki mittausprosessista – Nemo / Amos tuliputken kaliiperin mittausprosessi

Tässä alaluvussa esitellään esimerkkimittausprosessin avulla, kuinka SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset täytettiin eräässä PLS:in mittausprosessissa. Tapausesimerkistä saatua kokemusta hyödynnettiin myös edellä esiteltujen työ- ja menettelyohjeiden sekä prosessikuvausten laadinnassa. Tapausesimerkkinä on Nemo ja Amos kranaatinheittimien tuliputken kaliiperin mittausprosessi. Molemmissa kranaatinheittimissä käytetään siis samaa tuliputkea ja siten mittausprosessi on sama kummallekin kranaatinheittimelle. Liite 6 on liitteen 2 mittausprosessin määrittelyohjeen mukaisesti määritelty Nemo ja Amos -kranaatinheitinten kaliiperin mittausprosessin kuvaus, joka liittyvine dokumentteineen yhdessä mittalaiterekisterin tietojen kanssa täyttää SFS-EN ISO 10012:2003 standardin kohdan {7.2.1} vaatimuksen mittausprosessin täydellisestä erittelystä.

Mittausprosessin kuvauksen luvussa 1 kerrottiin yleisesti, mikä dokumentti on kyseessä, mitä vaatimuksia se täyttää, kenelle se on tarkoitettu ja miten dokumenttia tulee hallinnoida. Luvussa 2 esiteltiin mittausprosessi, metrologiset vaatimukset, mittalaitteet, mittausolosuhteet ja muut mittaukseen vaikuttavat tekijät. Luvussa 3 esiteltiin tiedot, joita mittausprosessin mittauspöytäkirjasta tulee selvittää. Luvussa 4 kerrottiin mitä tietoja mittausprosessista tallennetaan mittalaiterekisteriin. Lukuun 5 kirjoitettiin yleinen ohjeistus poikkeamisista. Luvussa 6 lueteltiin vielä mittausprosessiin liittyvät dokumentit.

Liitteen 6 alaluvussa 2.1 johdettiin kaliiperin mittausprosessia koskevat metrologiset vaatimukset lähtien siitä, että kranaatinheittimellä on kyettävä ampumaan nimellismitaltaan 120 mm kranaatteja. Tämä on toisaalta asiakasvaatimus ja toisaalta PLS:n lupaama tuotteen ominaisuus. Yleisten raskaiden aseiden suunnitteluperiaatteiden mukaisesti tuliputken toleranssiaste tulee olla esimerkiksi Hx (tarkkoja toleransseja ei ilmoiteta tässä liikesalaisuuden suojelemiseksi), mikä 120 mm nimellismitaltaan tapauksessa tarkoittaa +0,0xx/0 mm toleranssia ja tuliputken alkupäässä 120,xx mm nimellismitalalla +0,0xx/0 mm toleranssia. Jotta asiakasvaatimus ja lupaus kyvystä ampua 120 mm kranaatteja toteutuvat, oli osoitettava, että tuliputken kaliiperi eli sisähalkaisija on mainittujen toleranssien sisällä koko tuliputken matkalta. Näistä lähtökohdista johdettiin liitteen 6 alaluvussa 2.1 esitetyt metrologiset vaatimukset.

Esitettyjen metrologisten vaatimusten täyttämiseksi PLS oli valmistanut kaliiperin mittauslaitteiston, joka esitellään liitteen 6 alaluvussa 2.2. Samassa luvussa on esitelty myös mittauslaitteiston toimintaa, määritetty mittalaiterekisteriin tallennettavat tiedot mittauslaitteistosta ja otettu kantaa sinetöintiin, mittalaitteen käyttöön, mittalaitteen kanssa säilytettäviin dokumentteihin ja metrologisen varmuuden jakson pituuteen.

Liitteen 6 alaluvussa 2.3 pohdittiin ja määritettiin mittausolosuhteita, jotka vaikuttavat mittaukseen. Vaatimukset ja suositukset mittausolosuhteille määritettiin osittain perustuen seuraavassa alaluvussa 2.4 määritetyn mittausepävarmuuden osatekijöihin. Yleiset mittausolosuhteet, puhtaus, värinä, ilmankosteus ja tuenta, määritettiin analysoiden mittauslaitteiston toimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Lämpötilaan ja auringonpaisteeseen liittyvät olosuhdevaatimukset perustuvat siihen, että lämpötilavaihtelut mitattavan tuliputken ja

mittauslaitteiston osien välillä ovat suurin virheen aiheuttaja mittausprosessissa ja toisaalta auringon lämpö saattaa aiheuttaa tuliputkessa epätasaista lämpenemistä, mikä saattaa vääristää tuliputken muotoa ja siten vaikuttaa mittaustuloksiin.

Mittausepävarmuus määritettiin hyödyntämällä mittausepävarmuuden määrittämisohjetta ja –laskuria. Epävarmuuskomponenttien tunnistamisessa hyödynnettiin myös ISO 14253-2 [14] standardin esimerkkejä ja luetteloita mahdollisista epävarmuuden aiheuttajista. Mittausepävarmuus määritettiin myös kokeellisesti suorittamalla kaliiperimittauslaitteistolla toistomittauksia. Mittausepävarmuus määritettiin siis tavalla A ja B. Merkittävä huomio on, että eri tavoilla määritetyt mittausepävarmuudet olivat hyvin lähellä toisiaan. Kokeellisesta epävarmuuden määrittämisestä saatiin epävarmuudeksi $\pm 0,0069$ mm, $k = 2$ ja tavalla B $\pm 0,0089$ mm, $k = 2$. Tämä osoittaa, että tavalla B määrittäminen onnistui. Erityisesti se, että tavalla B määritetty epävarmuus oli suurempi kuin tavalla A määritetty, osoittaa, että myös tavalla B saavutettu tulos on käyttökelpoinen ja vastanee hyvin todellisia mittaustulosten vaihteluita.

Liitteen 5 alaluvussa 2.5 määritettiin, että kaliiperin mittausta suorittavalla henkilöllä tulee olla kelpuutus kaliiperimittauksen suorittamiseen. Kelpuutuksen vaatimukset yhdistettiin muihin tuliputkelle tehtävien tarkastusten kelpuutukseen. Kyseiseen kelpuutukseen on annettu pätevyysvaatimuksiksi visuaalista tarkastusta tekevien henkilöiden pätevyyttä koskevien standardien mukaiset pätevyysvaatimukset, puolustusvoimien vastaavan pätevyyden antavien kurssien käyminen tai tietty määrä työkokemusta vastaavista tehtävistä.

Alaluku 2.6 käsittelee metrologista varmennusta. Metrologinen varmennus tehtiin vertaamalla valitun mittauslaitteiston ominaisuuksia määritettyihin metrologisiin vaatimuksiin. Tämän perusteella todettiin, että mittauslaitteisto täyttää määritetyt metrologiset vaatimukset ja siten soveltuu käytettäväksi tässä mittausprosessissa.

Kaliiperimittausprosessissa mittauspöytäkirja tallentuu automaattisesti mittauksessa käytettävälle tietokoneelle. Tästä huolimatta mittauspöytäkirjalle laadittiin mittausprosessin määrittelyohjeen (liite 3) mukaiset vaatimukset mittauspöytäkirjalle. Mittauspöytäkirja on tärkein tallenne mittaustulosten jäljitettävyyden kannalta. Tämän vuoksi mittauspöytäkirjaan vaadittiin kirjattavaksi kaikki ne tiedot, jotka voivat vaikuttaa mittaustuloksiin, niiden luotettavuuteen tai jäljitettävyyteen.

Kaliiperimittausprosessissa mittauspöytäkirjaan vaadittiin kirjattavaksi liitteessä 3 vaadittujen tietojen lisäksi tiedot mitatusta tuliputkesta, tuliputken tilasta ja lämpötilat mittauksen alkaessa tuliputken ja mittauslaitteiston välittömässä läheisyydessä. Tuloksina mittausohjelmisto tulostaa tuliputken halkaisijan eli kaliiperin kuvaajan suhteessa mittauspisteen sijaintiin tuliputkessa sekä mitatut halkaisijoiden arvot 100 mm välein taulukoituna. Oleellista on myös huomata, että liitteen 6 luvussa 3 vaaditaan, että kaikkien dokumenttien, joiden perusteella mittausta tehdään, käytetty revisio kirjataan mittauspöytäkirjaan. Tällä tehtiin mahdolliseksi käytettyjen mittausohjeiden ja muiden dokumenttien jäljitettävyys, mikä on tarpeellista, jos joudutaan esimerkiksi pohtimaan, onko mittaus tehty ohjeiden mukaisesti.

Luvussa 4 esitettiin kaliiperimittauksessa erityisesti huomioitavat asiat, joita katsottiin olevan lähinnä asetusrenkaan ja mittapään lämpötilaeron minimoiminen. Mittausprosessi on luonteeltaan sellainen, ettei tyypillisiä poikkeamia katsottu olevan. Mahdolliset kaliiperin mittausprosessin poikkeamat ovat joko ennalta arvaamattomia tai niihin on jo puututtu

ohjeistuksella. Esimerkiksi mittapään tippumisen aiheuttama poikkeama on sen laatuinen, ettei sitä katsottu tarpeelliseksi luetella tässä erikseen.

Liitteen 6 lukuun 5 listattiin kaliiperin mittausprosessin määrittelyssä käytetyt ja prosessiin liittyvät dokumentit ja näiden tunnukset. Seuraavassa luetellaan tähän mittausprosessiin liittyvät dokumentit ilman dokumenttitunnuksia:

- Kaliiperin mittausohje
- Kaliiperin mittausohjelman käyttöohje
- Kaliiperimittauksen mittausepävarmuuden määrittäminen (laskelmat ja kokeellisen määrittelyn mittautulokset)
- Kaliiperimittauksen mittausepävarmuuden kokeellinen määrittäminen (suunnitelma)
- Nemo/AMOS tuliputken mittapiirustus
- Poikkeamien käsittely PLS:issä (menettelyohje toimintajärjestelmässä)

4.8 Parantaminen ja seuranta

Mittausten hallintajärjestelmän parantaminen ja seuranta päätettiin integroida osaksi PLS:in olemassa olevia ISO 9001 mukaisen toimintajärjestelmän menettelyjä. Mittausten hallintajärjestelmää auditoidaan PLS:in jatkuvan parantamisen menettelyjen mukaan. Jatkuvan parantamisen menettelyihin kuuluvat säännölliset ulkoiset ja sisäiset auditoinnit sekä niin sanottu ”lessons learned” –menettely (opitut asiat menettely).

PLS:in sisäisillä auditoinneilla ja ulkoisten sertifiointiyritysten tekemillä auditoinneilla arvioidaan PLS:in mittausten hallintajärjestelmän SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukaisuutta ja toisaalta PLS:in toimintaa tässä diplomityössä kehitetyn mittausten hallintajärjestelmä menettelyiden mukaisesti. Eli auditoinneilla pyritään ensinnäkin selvittämään täyttääkö PLS:in mittausten hallintajärjestelmä sille asetetut standardin vaatimukset. Toiseksi auditoinneilla selvitetään, toimitaanko yrityksessä kehitetyn mittausten hallintajärjestelmän menettelyiden mukaisesti siten kuin on suunniteltu, eli onko kehitetyt mittausten hallintajärjestelmän menettelyt toteutettu käytännössä.

Auditointien tulosten perusteella mittausten hallintajärjestelmää kehitetään siten, että menettelyt, ohjeet tai muut sellaiset, jotka eivät auditointien perusteella täytä standardin vaatimuksia muutetaan standardin vaatimusten mukaisiksi. Mikäli taas PLS:in toiminta ei vastaa määritettyjä menettelyitä muutetaan yrityksen toimintaa vastaamaan menettelyitä. Toiminnan muuttamisessa voidaan hyödyntää esimerkiksi koulutuksia tai tehokkaampaa tiedottamista.

Lessons learned –menettelyssä käydään läpi mittausten hallintajärjestelmästä saadut kokemukset ja käytännössä opitut asiat. Tässä siis pyritään kehittämään mittausten hallintajärjestelmää käytännön kokemusten perusteella. Tämän menettelyn avulla pystytään muuttamaan mittausten hallintajärjestelmää koskevia menettelyitä, mikäli on havaittu, etteivät menettelyt ole toimineet käytännössä.

Mittausten hallintajärjestelmälle asetettiin seuraavat laatutavoitteet, joiden toteutumista arvioidaan aina toimitusprojektikohtaisesti:

- Kaikki tunnistetut mittausprosessit on luokiteltu ABC-luokkiin

- Kaikki A-luokan mittausprosessit on kuvattu, suunniteltu ja noudattavat standardin vaatimuksia
- Kaikki A-luokan mittausprosesseissa käytetyt mittalaitteyksilöt ovat tunnetut ja jäljitettävissä
- A-luokan mittauksia ovat suorittaneet vain pätevät henkilöt
- Jos edellisistä on poikkeamia, niin poikkeamat on käsitelty LOI -menettelyn mukaisesti ja poikkeamien vaikutukset on arvioitu

Laatutavoitteiden avulla voidaan arvioida, kuinka hyvin mittauksen hallintajärjestelmää on toteutettu käytännössä. Mikäli laatutavoitteita ei ole saavutettu, on määritettävä ja toteutettava toimenpiteet, joilla laatutavoitteet saavutetaan tulevaisuudessa. Laatutavoitteiden toteutumisen arviointi toimii myös PLS:in johdon katselmuksen materiaalina, kun yrityksen johto katselee mittauksen hallintajärjestelmää. Tässä alaluvussa esitetty menettely ja laatutavoitteet vastaavat SFS-EN ISO 10012:2003 standardin kohtien {5.3}, {5.4}, {8.4.1} ja {8.4.2} vaatimuksiin.

Mittauksen hallintajärjestelmän käyttöönottoajalle asetettiin lisäksi erilliset tavoitteet, sillä ei voitu olettaa, että kaikki mittauksen hallintajärjestelmän menetelmät otetaan käyttöön kaikkialla yrityksessä samanaikaisesti ilman viivettä. Ylipäätään mittauksen hallintajärjestelmän menettelyiden kouluttaminen ja tiedottaminen vievät aikaa samoin kuin näiden sisäistäminen henkilökunnan keskuudessa. Käyttöönottoajan tavoitteet ovat:

- On tehty koulutussuunnitelma mittauksen hallintajärjestelmän menettelyistä ja suunnitelman mukaiset koulutukset on pidetty (4 kk)
- A-luokan mittauksia tekevät alihankkijat on myös koulutettu (6 kk)
- Alihankkijoilta saatavat mittausraportit täyttävät asetetut vaatimukset (10 kk)
- Kaikki A-luokan mittausprosessien mittausraportit täyttävät standardin vaatimukset (12 kk)
- Ainakin yhdessä projektissa on noudatettu mittauksen hallintajärjestelmä -prosessia mukaan lukien tuotteistamisprosessin katselmukset mittauksille (15 kk)

Mittalaitteiden hallinta: (12 kk)

- Kalibrointitodistukset ovat luettavissa suoraan mittalaiterekisteristä
- Mittalaitteiden säilytys (mittalaiterekisterissä) vastaa mittalaitteen todellista käyttöpaikkaa, varastopaikkaa tai muuta sijaintia
- Mittalaitteet on luokiteltu järkevästi mittalaiterekisterissä. Esimerkiksi: työntömitat, painemittarit jne.
- Kalibrointiin liittyvät ohjeistukset ja sopimukset on tarkistettu ja ne vastaavat asetettuja vaatimuksia

Tavoitteen perään on kirjattu suluissa aika, jonka kuluessa tämän työn julkaisusta tavoitteet tulisi olla täytettynä. Käyttöönottoajan tavoitteilla pyritään varmistamaan, että mittauksen hallintajärjestelmä otetaan käyttöön ja siihen varataan riittävästi resursseja, jotta asetetut tavoitteet saavutetaan vaaditussa ajassa. Käyttöönottoajan tavoitteiden saavuttamiseksi on suunniteltava tarvittavat koulutukset ja tiedotettava henkilökuntaa riittävällä laajuudella.

4.9 Vaatimukset alihankkijoille

Ulkopuolisilta toimijoille, eli tässä tapauksessa PLS:in alihankkijoille asetettiin mittausprosesseille vaatimuksia perustuen PLS:in tekemään arvioon mittauksen kriittisyydestä. Toisin sanoen PLS määrittä missä mittauksissa alihankkijoiden on vähintään noudatettava SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksia PLS:in määrittelemällä tavalla. Tämä perustui AQAP 2110 vaatimukseen AQAP 2110 standardin vaatimusten vyöryttämisestä alihankkijoille huomioiden AQAP 2009 ohjeet AQAP 2110 standardin soveltamisesta [2, 19].

Ne mittausprosessit määriteltiin, joissa PLS:in alihankkijoiden on noudatettava SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimuksia määritetyllä tavalla. Nämä mittausprosessit ovat tämän työn alaluvussa 4.3 kuvatuilla kriteereillä A-luokkaan määritettyjä mittausprosesseja. PLS tiedottaa alihankkijoille mitkä mittausprosessit on luokiteltu A-luokkaan. Alihankkijoiden A-luokan mittausprosesseille asetettiin samat vaatimukset kuin PLS:in A-luokan mittausprosesseille. Alihankkijoiden on siis käytettävä näissä mittausprosesseissa kalibroituja mittalaitteita, jotka on metrologisesti varmennettu sopiviksi kyseiseen mittausprosessiin. Alihankkijoiden on tehtävä A-luokan mittausprosesseista liitteen 3 menettely ohjeen mukaan mittausprosessin täydellinen kuvaus ja mittausraportin on sisällettävä vähintään liitteen 3 mukaiset tiedot mittauksesta.

Jotta alihankkijoille asetetut vaatimukset tulevat täytetyiksi annetaan alihankkijoille tarvittavaa koulutusta ja ohjeistusta. Alihankkijoille luovutetaan käyttöön mittausprosessin kuvaamisessa ja määrittelyssä tarvittavat ohjeet, jotka on esitelty tässä työssä. Lisäksi alihankkijoille pidetään tarvittaessa koulutustilaisuuksia, joissa opastetaan PLS:in asettamien vaatimusten täyttämässä ja selvitetään SFS-EN ISO 10012:2003 standardin tarkoitusta ja siten PLS:in alihankkijoiden mittausprosesseille asettamien vaatimusten merkitystä tuotteen laadun osoittamisessa.

5 Pohdinta ja yhteenveto

5.1 Standardin vaatimusten täyttyminen

Standardin vaatimusten täyttymistä voidaan arvioida Taulukko 2 avulla. Taulukossa on ensimmäisessä sarakkeessa SFS-EN ISO 10012:2003 standardin kohdan numero, toisessa sarakkeessa tämän työn luku, jossa standardin kohdan vaatimuksia on analysoitu, kolmannessa sarakkeessa tämän työn luku, jossa on esitelty, miten standardin kohdan vaatimukset täytettiin ja neljännessä sarakkeessa standardin kohdan vaatimusten täyttymisen osoittavan ohjeen, menettelyn tai muun sellaisen nimi.

Taulukko 2 SFS-EN ISO 10012:2003 standardin kohtien käsittely tässä diplomityössä

Standardin kohta	Luvut, jossa standardin kohtaa analysoitu	Luvut, jossa esitetty miten standardin vaatimukset täytettiin	Standardin vaatimukset täyttävä dokumentti, ohje, menettely tms.
4	3.2, 3.4, 3.5, 3.10	4.3	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus
5	<i>Johdon vastuu</i>		
5.1	3.1	4.2	Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus
5.2	3.3	4.4	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
5.3	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus
5.4	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus, PLS:n toimintajärjestelmä
6	<i>Resurssien hallinta</i>		
6.1	<i>Henkilöresurssit</i>		
6.1.1	3.1	4.2	Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus
6.1.2	3.8	4.4	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, PLS:n toimintajärjestelmä
6.2	<i>Informaatioresurssit</i>		
6.2.1	3	4	Kaikki mittausten hallintajärjestelmän ohjeet, PLS:n toimintajärjestelmä
6.2.2	3.9.1	4.4	Mittalaitteiden hallinnan menettelyohje, Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
6.2.3	3	4.2	PLS:n toimintajärjestelmä
6.2.4	3.9.1	4.4, 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
6.3	<i>Materiaaliresurssit</i>		
6.3.1	3.6, 3.9	4.4., 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
6.3.2	3.6	4.4.	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
6.4	3.13	4.2	Mittausten hallintajärjestelmän prosessikuvaus
7	<i>Metrologinen varmennus ja mittausprosessien toteuttaminen</i>		
7.1	Metrologinen varmentaminen		

7.1.1	3.9.1, 3.10	4.4, 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
7.1.2	3.10	4.4, 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
7.1.3	3.9.1	4.4, 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
7.1.4	3.9.1, 3.10	4.4, 4.5	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn, Mittalaitteiden hallintajärjestelmä
7.2	<i>Mittausprosessi</i>		
7.2.1	3.2	4.4	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
7.2.2	3.2	4.4	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
7.2.3	3.2, 3.8	4.4	Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
7.3	<i>Mittausten epävarmuus ja jäljitettävyys</i>		
7.3.1	3.7	4.4	Ohje mittausepävarmuuden määrittämiseen, Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
7.3.2	3.9.2	4.5	Mittalaitteiden hallintaprosessi ja menettelyohje, Ohje SFS-EN ISO 10012 mukaisen mittausprosessin määrittelyyn
8	<i>Mittausten hallintajärjestelmän analysointi ja parantaminen</i>		
8.1	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje ja prosessi kuvaus, PLS:n toimintajärjestelmä
8.2	<i>Auditointi</i>		
8.2.1	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje ja prosessi kuvaus, PLS:n toimintajärjestelmä
8.2.2	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje ja prosessi kuvaus, PLS:n toimintajärjestelmä
8.2.3	3.11	4.8	Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje ja prosessi kuvaus, PLS:n toimintajärjestelmä

Taulukosta 2 nähdään, että jokaista standardin kohtaa on käsitelty tässä työssä. Standardin vaatimusten täyttämiseksi on luotu ohjeita ja prosessikuvaus, joista muodostuu standardin tarkoittama mittauksen hallintajärjestelmä. Osa standardin vaatimista menettelyistä sisältyi jo olemassa olevaan PLS:in ISO 9001 ja AQAP 2110 standardeja noudattavaan laatu- ja toimintajärjestelmään, ja näitä hyödynnettiin myös mittauksen hallintajärjestelmää kehitettäessä.

Liitteiden 1-6 sekä taulukon 2 avulla voidaan käydä SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset kohta kohdalta läpi ja tarkastaa mihin standardin vaatimuksiin on otettu kantaa ja toisaalta, mitä vaatimuksia tässä työssä on analysoitu ja joiden täyttyminen on perusteltu. Näin suoritettuna tarkastelun perusteella voidaan todeta standardin vaatimusten täyttyminen niiltä osin, kuin se voidaan tässä työssä osoittaa. Luonnollisesti tulevaisuudessa tapahtuvaa toimintaa koskevien vaatimusten täyttymistä ei voida tässä työssä osoittaa, mikä ei ole ollut työn tarkoituksenaan. Mittauksen hallintajärjestelmässä ja tässä työssä on pyritty ohjaamaan PLS:in toimintaa standardin vaatimusten mukaiseksi. Laadittujen ohjeiden ja menettelyjen mukaan toimiessa PLS:in toiminta tulee täyttämään SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset.

Mittausten hallintajärjestelmän pohjana toimii alaluvussa 4.2 esitelty mittausten hallintajärjestelmän prosessi ja liitteessä 2 mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje. Signaalin mittausten hallintaprosessin käynnistymiseen tulee PLS:in toimintajärjestelmän tuotteistamisprosessin katselmuksista, joissa todetaan tarve todentaa tuotteita koskevia vaatimuksia mittauksin. Mittausten hallintajärjestelmäprosessin lopputuloksena saadaan tuotetta koskevan vaatimuksen täyttymistä todentavia mittaustuloksia. Mittausten hallintajärjestelmäprosessi yhdessä mittausten hallintajärjestelmän menettelyohjeen kanssa ohjaa käyttämään osana tätä työtä kirjoitettuja ohjeita, muun muassa ohjetta mittausprosessin kuvaamisesta. Tällöin, noudattamalla mittausten hallintajärjestelmän prosessia ja menettelyohjeita tuotetaan standardin vaatimusten mukaisilla mittausprosesseilla laadukkaita ja jäljitettäviä mittaustuloksia.

Kehitetyn mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuus perustuu mittausten hallintajärjestelmä prosessin mukaiseen mittausprosessien käsittelyyn. Oleellista onkin siis, että prosessin noudattaminen on sisällytetty yrityksen toimintajärjestelmään ja sitä todella noudatetaan yrityksen projekteissa ja toiminnassa, joissa mittauksia tarvitaan. Lähtökohtaisesti mittausten hallintajärjestelmän tulisi tulla automaattisesti hyödynnetyksi, kun noudatetaan PLS:n toimintajärjestelmän prosesseja. Kuitenkin, mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuuden ja käytön takaamiseksi, on mittausten hallintajärjestelmää ja siihen liittyviä menettelyitä koulutettava henkilökunnalle ja pyrittävä osoittamaan henkilökunnalle järjestelmän merkitys.

5.2 Mittausten hallintajärjestelmän merkitys PLS:ille

Osa SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksista tuottaa lisää työvaiheita ja –tehtäviä niin mittauksia suunnitteleville kuin mittauksia suorittaville henkilöille. Näiden tehtävien menestyksellinen suorittaminen vaatii perehtymistä aiheeseen ja joissain tapauksissa, jopa suhteellisen laajaa aiheen opiskelua. Esimerkiksi mittausepävarmuuden määrittäminen vaatii määrittäjältä aiheen hallintaa ja vähintään osana tätä diplomityötä kirjoitettuun mittausepävarmuuden määrittämisohjeeseen perehtymistä. Samoin metrologisten vaatimusten määrittämiseen on perehdyttävä, jotta vaatimuksista ei ensisijaisesti määritetä liian väljiä luotettavien mittaustulosten takaamiseksi ja toisaalta liian tiukkoja ylimääräisen työn ja kustannusten välttämiseksi.

Mittausten hallintajärjestelmää käyttöönotettaessa uudet vaatimukset mittausprosesseille teettävät lisätyötä, mutta mittausten hallintajärjestelmän käytön vakiintuessa PLS:in toimintaan, on mahdollista, että mittausten hallintajärjestelmä jopa vähentää mittausprosessien suunnitteluun tehtävää työtä. Mittausprosessien listaamisesta ja luokittelusta syntyvä luettelo eri mittausprosesseista mahdollistaa pitkän ajan kuluessa sen, että lähes kaikki PLS:issä tarvittavat ja käytettävät mittausprosessit on luokiteltu ja A-luokan mittausprosessit kuvattu. Tällöin voidaan mittausprosessilistasta helposti tarkastaa, onko vastaavaa mittausprosessia käytetty jo aiemmin, jolloin voidaan suoraan tai soveltaen hyödyntää olemassa olevia mittausprosessien kuvauksia, mittausohjeita ja muuta aineistoa.

PLS:in mittausten hallintajärjestelmän ja mittausprosessien kehittyminen lähti vauhdilla käyntiin, kun SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset selvitettiin ja näiden soveltaminen käytännössä ohjeistettiin. Jo tämän diplomityön kirjoittamisen aikana esitettyihin ohjeisiin ja esimerkkimittausprosessin kuvaukseen tehtiin paljon muutoksia, kun mittausten hallintajärjestelmää esiteltiin laajemmalle yleisölle ja menettelyistä saatiin palautetta.

Kuitenkin esiteltyjen menettelyiden periaatteet saivat hyväksyvän vastaanoton PLS:issä ja mittauksen hallintajärjestelmän soveltamista yrityksen toiminnassa ryhdyttiin toteuttamaan.

Mittauksen hallintajärjestelmän kehittämisen ja käyttöönoton myötä PLS:issä alettiin kiinnittää enemmän huomiota mittauksen laatuun ja havahduttiin siihen, että mittausprosesseissa ja muissa mittauksiin liittyvissä käytännöissä todella on parantamisen varaa. Tämä johtui osittain siitä, että mittauksen hallintajärjestelmän kehitysprojektin kautta asia tuli esille ja toisaalta kehitysprojektiin osallistuneen ja muun henkilökunnan tietämys metrologian alalta lisääntyi.

Mittauksen hallintaa ja mittausprosessien dokumentaatiota koskevat ohjeistukset olivat tätä työtä aloittaessa vajavaiset eikä yhtenäisiä käytäntöjä esimerkiksi mittauksien tulosten raportoinnille ollut. Mittauksen hallintajärjestelmän kehittämisen tuloksena PLS:in kriittisiä A-luokan mittauksia koskeva ohjeistus on yhdenmukaista ja mittausprosesseista syntyy tietyt dokumentit, joiden sisältö täyttää niille asetetut vaatimukset. Samoin mittauksen luokittelu ABC-luokkiin on nyt ohjeistettu ja se tapahtuu järjestelmällisesti. Luokittelusta jää myös tallenne, jolloin luokittelua voidaan arvioida jälkikäteen. Aiemmin tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta mittauksen suunnittelija oli saattanut yksin päättää mittauksen kriittisyydestä ja siten siihen liittyvän dokumentaation ja mittauksen jäljitettävyyden tasosta, nyt nämä tulee tehdä määritellyllä tavalla.

ISO 10012 mukainen dokumentaatio, erityisesti täydellinen kuvaus mittausprosessista, myös varmistaa osaltaan, että mittauksia koskeva niin sanottu hiljainen tieto dokumentoidaan ja se siirtyy eteenpäin. Aiemmissa mittauksen suunnittelua ja dokumentointia koskevissa ohjeissa ei oltu huomioitu kaikilta osin sitä, että kaikki mittauksen suorittamiseen ja sitä kautta mittauksien tuloksiin liittyvä tieto tulee dokumentoida, jotta työntekijät saavat tarvittaessa nämä tiedot käyttöönsä.

Kehitystyön aikana määritetyt PLS:in mittauksen hallintajärjestelmän menettelyt, prosessit ja kirjoitetut menettelyohjeet toimivat lähtökohtana yrityksen mittauksen hallintajärjestelmälle. SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset mittauksen hallintajärjestelmälle on analysoitu ja vaatimusten soveltaminen PLS:n toimintaan suunniteltu. Tässä työssä laadittujen standardin vaatimusten sovellusten toimivuus käytännössä tulee selviämään vasta tulevaisuudessa, kun mittauksen hallintajärjestelmän saadaan otettua käyttöön yrityksen toiminnassa.

Mittauksen hallintajärjestelmän toimivuutta ja vaikuttavuutta tullaan arvioimaan ensimmäisen kerran, kun mittauksen hallintajärjestelmää auditoidaan ja katselmoidaan luvussa 4.8 määritettyjen menettelyjen mukaisesti. SFS-EN ISO 10012:2003 mukaisesti mittauksen hallintajärjestelmää onkin jatkuvasti kehitettävä ja parannettava, sillä täydellisen tai edes hyvin toimivan mittauksen hallintajärjestelmän kehittäminen kerralla on erittäin haastavaa, ellei mahdotonta ja laatustandardien hengen mukaisesti aina tulee pyrkiä parempaan. Tässä työssä esitelty ja muutaman muun työn tekemisen aikana käsitellyn tapausesimerkin avulla ei vielä voida riittävästi analysoida kehitettyjen menettelyiden soveltuvuutta koko PLS:in toimintaan, jolloin menettelyitä on edelleen kehitettävä, kun kokemusta ja tietoa mittauksen hallintajärjestelmästä ja sen toimivuudesta syntyy.

Mittauksen hallintajärjestelmän jalkauttamista käytäntöön käsiteltiin tässä työssä vain käyttöönottoajan tavoitteiden näkökulmasta. Kehitetyn mittauksen hallintajärjestelmän käyttöönottamiseksi tulee suunnitella ja toteuttaa henkilöstön koulutuksia ja tiedottaa mittaus-

ten hallintajärjestelmästä riittävän laajasti. Ilman koulutuksia ja tiedottamista mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuus jää hyvin vähäiseksi, eikä mittausten hallintajärjestelmä saavuta sille tämän työn alaluvussa 4.8 asetettuja tavoitteita.

Mittausten hallintajärjestelmän menettelyt ja käytännöt tulee saattaa tiedoksi kaikille henkilöille, jotka suunnittelevat tai tekevät mittauksia, sekä myös muille, joiden työkuvaan mittaukset liittyvät. Myös yrityksen johdon on syytä tuntea mittausten hallintajärjestelmän perusteet ja tavoitteet, jotta mittausten hallintajärjestelmän hyödyllisyys ymmärretään. Mittausten hallintajärjestelmään liittyvät koulutukset voisi liittää osaksi yrityksen uusien työntekijöiden perehdytysohjelmaa niille työntekijöille, joiden työtehtäviin mittausten hallintajärjestelmä liittyy. Mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuuden ylläpitämiseksi annetuista koulutuksista tulee tehdä tallenteet, joilla työntekijöiden saamia koulutuksia voidaan seurata ja sopivin väliajoin pitää kertaavia koulutuksia.

5.3 Kehitystarpeet ja mahdollisuudet

Tulevaisuudessa saattaa syntyä tarve laajentaa tai syventää kehitettyä mittausten hallintajärjestelmää. SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukaisen mittausten hallintajärjestelmän vaatimukset voisi laajentaa koskemaan myös B-luokan mittauksia, mistä seuraisi, että yrityksen kaikki mittaustulokset, jotka tallennetaan, olisi tuotettu standardin vaatimukset täyttävillä mittausprosesseilla. Tällä voitaisiin minimoida virheellisten mittaustulosten aiheuttamien poikkeamien määrää ja vaikutuksia. Toisaalta tässä työssä kirjoitettujen ohjeiden sisältöä voisi ulottaa käsittelemään enemmän metrologiaa tieteenä ja siten lisätä henkilöstön tietoa mittaamisesta ja metrologiasta. Myös standardien mukaisen terminologia käyttöä yrityksen dokumentaatiossa voi olla kannattavaa kehittää. Vaikka niin sanottujen ”oikeiden termien” käyttö ei ole itseisarvo, jos kaikki asianosaiset ymmärtävät mistä on kyse, antavat asianmukaiset yleisesti hyväksytyt termit asiantuntevan kuvan erityisesti yrityksen ulkoisessa viestinnässä. Samoin dokumenttien tulkitseminen on yksiselitteisempää ja vaivattomampaa kun terminologia vastaa alan standardeja.

Mittalaitteiden hallintajärjestelmään olisi mielekästä kehittää menettelyt, joilla voidaan vähentää mittalaitteiden hallintaprosessin mukaisesti hallinnoitavien mittalaitteiden määrää ja erityisesti kalibroitavien mittalaitteiden määrää. Ulkopuolisten kalibroitilaboratorioiden kulut niissä teetettävistä kalibroinneista saattavat olla merkittävät, jolloin niissä kalibroita-
vien mittalaitteiden tulisi olla tarpeellisia yrityksen toiminnassa. Luonnollisesti myöskään PLS:in tekemä kalibrintityö ei ole ilmaista.

Kalibrintikustannusten pienentämiseksi onkin kalibrintiväliä pyrittävä pidentämään aina, kun se ei vaaranna metrologisen jäljitettävyyden säilymistä. Toisin sanoen tässä työssä esiteltyjä menettelyitä metrologisen varmennuksen ja kalibrintijakson pituuden muuttamiseen tulee käyttää aktiivisesti kaikille kalibroitaville mittalaitteille. Mittalaitteiden todellinen käyttö tulisi myös kartoittaa. Esimerkiksi työntömitan, jota työntekijä säilyttää taskusaan, on tarpeetonta olla jatkuvasti kalibroituna, sillä tällaisessa käytössä mittalaitteen metrologisten ominaisuuksien säilyminen ei ole turvattu.

Mittalaitteiden erottelu niiden mittausprosessien mukaan joissa niitä käytetään, voi vähentää kalibrintitarvetta huomattavasti vaarantamatta metrologisesti varmennettujen mittalaitteiden käyttöä niissä mittausprosesseissa, joissa se on tarpeellista. Toisaalta kalibroimattomalla mittalaitteella tehdyn mittauksen mittaustulosta ei voida tieteellisesti katsoen pitää millään tavalla luotettavana. Käytännössä kuitenkin useiden mittalaitteiden näyttämä on

riittävällä varmuudella ja tarkkuudella lähellä oikeaa tulosta moniin suuntaa antaviin mittauksiin.

SFS-EN ISO 10012:2003 standardin yhtenä perusajatuksena on käsitellä mittausprosesseja laajemmasta näkökulmasta kuin usein on totuttu tekemään. Mittaustuloksilla usein ajatellaan vain todistettavan, että tuotteen jokin mitta täyttää esimerkiksi mittapiirustuksessa esitetyn vaatimuksen. Standardin vaatimukset kuitenkin ohjaavat ensisijaisesti ajattelemaan mittaustulosta todisteena asiakkaan vaatimuksen täyttymisestä. Tietysti mittausta koskevat vaatimukset saattavat tulla myös esimerkiksi viranomaisilta, mutta lopulta viranomaisvaatimustenkin täytyminen on asiakkaan vaatimus, jonka täytyminen asiakkaan toiveiden mukaan parantaa asiakastyytyväisyyttä. Tämä pyritään huomioimaan määritettäessä metrologisia vaatimuksia mittausprosesseille lähtien asiakasvaatimuksista. Tämän ajatuksen vieminen kaikkeen yrityksen mittaamiseen liittyvään toimintaan tuotekehityksestä ja suunnittelusta lähtien on tärkeää, jotta ymmärretään mitä varten mittauksia ja laadun varmistusta tehdään.

Mittausten hallintajärjestelmän lisäksi kannattaisi ottaa käyttöön tilastollisia laadun varmistuksen menetelmiä, joiden avulla tuotteiden valmistusta voitaisiin ohjata. PLS:in tuotantosarjat ovat pieniä ja tilastollisia menetelmiä ajatellen otanta saattaa jäädä turhan pieneksi, mutta näitä olisi kuitenkin mahdollista soveltaa muun muassa komponentteihin, joita käytetään esimerkiksi kaikissa AMV-pyöräpanssariajoneuvoissa. Soveltamalla tilastollisia laadunvarmistuksen menetelmiä kyettäisiin myös arvioimaan alihankkijoiden valmistusprosesseja ja tarvittaessa vertailemaan eri alihankkijoita.

Myös PLS:in alihankkijoita tulee jatkossa kannustaa mittausten hallintajärjestelmän käyttöönottoon SFS-EN ISO 10012:2003 standardin mukaista mittausten hallintajärjestelmää käyttävä alihankkija pystyy omilla mittauksillaan vähentämään PLS:issä tarvittavia vastaanottotarkastuksen yhteydessä tehtäviä mittauksia. Kun muutoinkin vastaanottotarkastuksissa tehtävää laadunvalvontaa on vähennetty ja ulkoistettu tehtäväksi suoraan toimittajalla, olisi hyvinkin suotavaa, että PLS:illä olisi mahdollisuus saada suoraan kaikki dokumentit, joilla alihankkija on toimittamansa tuotteen laadun varmistanut. Tällöin alihankkijan sertifioitu mittausten hallintajärjestelmä varmistaisi, että kaikista laadun varmistusmittauksista löytyisi riittävä dokumentaatio ja mittaustulokset olisivat laadukkaampia.

Alihankkijoille kehitetty PLS:in mittausten hallintajärjestelmä aiheuttaa tiettyjä lisätoimenpiteitä ja siten lisätyötä alihankkijoiden suorittamiin mittauksiin liittyen. Nämä aiheuttavat luonnollisesti myös lisäkustannuksia alihankkijoille. Toisaalta PLS tarjoaa alihankkijoille mittausten hallintajärjestelmään liittyvää koulutusta, jotta alihankkijoiden mittaukset tulevat täyttämään PLS:in mittauksia koskevat vaatimukset. Tämä tuo alihankkijoiden yrityksiin mahdollisesti uutta osaamista ja tietoa metrologian alalta, mikä saattaa johtaa myös alihankkijoiden mielenkiintoon mittausten hallintajärjestelmän kehittämistä kohtaan. Mikäli alihankkijat tyytyvät täyttämään vain PLS:in määrittämiä mittauksia koskevat vaatimukset, eikä aiheeseen perehdytä enempää tai kehitetä mittausten hallintajärjestelmää, jäänevät alihankkijan kokemat hyödyt mittausten hallintajärjestelmästä melko vähäisiksi.

PLS:in asiakkaille kehitetty mittausten hallintajärjestelmä näkyy lähinnä A-luokan mittauksista toimitettavissa mittausraporteissa. Näistä raporteista selviää entistä enemmän mittaustuloksiin liittyviä tietoja ja tarvittaessa asiakas osaa mittausraportin perusteella kysyä esimerkiksi tietoja mittauslaitteistoista. Niille asiakkaille, joiden sopimusvaatimuksissa on vaadittu AQAP 2110 noudattamista, on asiakkaalle myös taattava mahdollisuus pereh-

tyä kaikkeen mittaukseen liittyvään tietoon, jolloin onkin suotavaa, että mittauksiin liittyvä tieto on helposti löydettävissä ja jäljitettävissä mittausraportin ja mittausprosessin kuvauksen avulla.

Asiakkaiden kannalta kehitetty mittauksen hallintajärjestelmä tuo A-luokan mittausprosessien mittausraportteihin oleellisen lisäyksen. Aiemmin PLS'in mittausraporteissa ei oltu ilmoitettu mittausprosessille arvioitua mittausepävarmuutta tai mittausepävarmuuden arviointia ei oltu tehty lainkaan. Kehitetyn mittauksen hallintajärjestelmän mukaisista mittausraporteista selviää aina mittausprosessille arvioitu mittausepävarmuus, jonka avulla asiakas voi arvioida mittauksia ja sitä, täyttääkö mitattu ominaisuus sille asetetut vaatimukset. Kun mittausraportin perusteella voidaan jäljittää mittausprosessin kuvaus, niin tätä kautta päästään käsiksi myös mittausprosessin mittausepävarmuuden määrittämisestä tehtyihin laskelmiin ja muihin tallenteisiin. Mikäli asiakkaalla on oikeus nähdä näitä tietoja, voi asiakas myös arvioida mittausepävarmuuden arvion laatua ja siten varmistua mittauksien paikkansa pitävyydestä.

Mittauksien ja mittausraporttien tietosisällön lisääntyminen ja standardin mukaisuus tuovat asiakkaille lisäarvoa, kun asiakkaat voivat arvioida mitattua ominaisuutta koskevien vaatimusten täyttymistä suoraan PLS:n mittauksien perusteella. Tällöin asiakkaan ei tarvitse itse mitata ominaisuutta. Mikäli mittauksien oikeellisuudesta aiheutuu epäilyksiä, voidaan ISO 10012 mukaisella dokumentaatiolla osoittaa, miten mittaus on tehty ja siten osoittaa asiakkaalle mittauksien paikkansa pitävyys ilman uusintamittauksia tai asiakkaan omia mittauksia.

ISO 10012 vaatimusten mukainen dokumentaatio mittausprosesseista tuo myös hyötyjä, mikäli PLS'in tarvitsee jälkikäteen osoittaa jonkin tuotteen ominaisuuden täyttymisen. Esimerkiksi reklamaatiotapauksissa voidaan mittausprosessien tallenteiden avulla pätevästi osoittaa, että tuote on ollut vaatimusten mukainen asiakkaalle toimittaessa ja siten PLS ei ole virhevastuussa. Tämä saattaa olla hyvinkin merkittävä tekijä esimerkiksi, jos PLS'in toimittama tuote joutuu osaksi henkilövahinkoja aiheuttavaa onnettomuutta.

5.4 Yhteenveto

Kehitystyön alussa PLS:issä käytössä ollut mittauksen hallintajärjestelmä ei täyttänyt kaikkia SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksia, eikä siten AQAP 2110 vaatimusta ISO 10012 mukaisen mittauksen hallintajärjestelmän noudattamisesta. ISO 10012 standardin vaatimuksia noudattavan mittauksen hallintajärjestelmän kehittämiseksi perehdyttiin aiheita koskeviin standardeihin mukaan lukien SFS-EN ISO 10012:2003, AQAP 2110, ISO 9001. Lisäksi perehdyttiin aiheita ja metrologiaa yleisesti käsittelevään lähdeaineistoon kuten esimerkiksi GUM mittausepävarmuuden määrittämisoppaaseen. Tutkitun aineistosta analysoitiin mittauksen hallintajärjestelmää koskevat vaatimukset ja tämän perusteella muotoiltiin vaatimukset sopiviksi PLS'in käyttöön.

Standardien vaatimusten mukaisen mittauksen hallintajärjestelmän toteuttamiseksi kuvattiin PLS'in mittauksen hallintajärjestelmä erillisenä prosessina, joka integroitiin PLS'in toimintajärjestelmän osaksi. Prosessin lähtötilassa on asiakkaan vaatimus, jonka toteutuminen on todennettava mittaamalla. Prosessista saadaan lopputuloksena ISO 10012 mukaisen mittausprosessin mukaan tuotetut mittauksien tulokset. Mittauksen hallintaproessin eri vaiheiden toteuttamista varten kirjoitettiin joukko menettelyohjeita. Menettelyohjeet koskevat mittausprosessien luokittelua ja kuvaamista, metrologisten vaatimusten määrittelyä, mit-

tausepävarmuuden määrittämistä ja mittausten hallintajärjestelmää yleisesti. Lisäksi mittausten hallintajärjestelmän aliprosessina toimii mittalaitteiden hallinnan prosessi. Mittalaitteiden hallintaprosessin lähtötilassa on kalibroimaton tai uusi mittalaite tai sellainen mittalaite, jonka kalibrointijakso on umpeutumassa. Mittalaitteiden hallintaprosessin lopputuloksena saadaan mittalaite, jonka kalibrointi on voimassa ja jonka tiedot ovat ajan tasalla mittalaiterekisterissä. Myös mittalaitteiden hallinnasta kirjoitettiin menettelyohje.

Edellä mainitut toimenpiteet vastaavat tutkimusongelmaan ”Miten PLS vastaa SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimuksiin?”. Myös tutkimusongelmasta johdettuihin alakysymyksiin vastattiin. Kysymykseen ”Mitä SFS-EN ISO 10012:2003 standardi vaatii?” vastattiin kolmannessa luvussa, jossa selvitettiin eri standardin osa-alueita koskevat vaatimukset. Kysymykseen ”Miten laajasti standardia sovelletaan?” vastattiin kehittämällä menetelmät ja ohjeet ABC-analyysin tekemiseen ja A-luokan mittaushallinnat valintaan. Näin saatiin rajattua standardin soveltamisalue vain määritetyt kriteerit täyttäviin mittauksiin. Alakysymykseen ”Mitkä vaatimukset PLS:in toiminta jo täyttää?” vastattiin neljännessä luvussa. PLS:in toiminta täytti standardin vaatimuksia ennen mittausten hallintajärjestelmän kehittämistä lähinnä poikkeamien hallinnan, mittauslaitteistojen yksilöintien ja jatkuvan parantamisen vaatimusten osalta. Näihinkin osa-alueisiin tehtiin erityisesti mittausten hallintaa koskevia täydennyksiä, jotta ISO 10012 standardin vaatimusten täytyminen olisi selvemmin osoitettavissa. Niin ikään neljänteen alakysymykseen ”Miten muut standardin vaatimukset täytetään?”, vastattiin neljännessä luvussa. Standardin vaatimusten täyttämiseksi kehitettiin tässä työssä esiteltyt menetelmät, prosessit ja menettelyohjeet, joiden mukaisesti toimiessa PLS:in toiminta tulee täyttämään SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset. Tutkimuksen ja kehitystyön tuloksena syntyi Patria Land System Oy:n tarpeisiin soveltuva ja sekä AQAP 2110 että SFS-EN ISO 10012:2003 standardin vaatimukset täyttävä mittausten hallintajärjestelmä.

6 Lähdeluettelo

- [1] ”Patria-Liiketoiminnot” Saatavilla:<http://patria.fi/fi/patria/konsernirakenne/liiketoiminnot> . [Viitattu 15.1.2016].
- [2] AQAP - 2110. 2009, NATO Quality assurance requirements for design, development and production, North Atlantic Treaty Organization, NATO Standardization Agency. 20 s.
- [3] H. Kunzmann, T. Pfeifer, R. Schmitt, H. Schwenke ja A. Weckenmann, ”Productive Metrology - Adding Value to Manufacture,” CIRP Annals - Manufacturing Technology Vol. 54:2, 2005. S. 155-168. [Viitattu 22.2.2016]. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60024-9.
- [4] SFS-OPAS 99. 2010, Kansainvälinen metrologian sanasto (VIM). Perus- ja yleiskäsitteet sekä niihin liittyvät termit, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 96 s.
- [5] J. Järvinen, S. Eerola ja M. Kaukonen, Mittaustekniikasta lyhyesti, 4. painos, Espoo: Mittaustekniikan keskus, 2008.
- [6] Bucher, Jay L. American Society for Quality, Measurement Quality Division Staff, The Metrology Handbook, Milwaukee, USA: ASQ Quality Press, 2004.
- [7] SFS-EN ISO 10012. 2003, ”Mittausten hallintajärjestelmät: Vaatimukset mittausprosesseille ja mittauslaitteille,” Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 45 s. Helsinki.
- [8] SFS-EN ISO 14978. 2007, Geometrical product specifications (GPS). General concepts and requirements for GPS measuring equipment., Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 40 s.
- [9] OIML D 10. 2007, Guidelines for the determination of calibration intervals of measuring instruments. Paris, la France: International Organization of Legal Metrology (OIML). 11s.
- [10] A 18.6.2014/471, Valtioneuvoston asetus mittalaitteista. Tukes säädöstietopalvelu [Viitattu 25.2.2016] <http://plus.edilex.fi/tukes/fi/lainsaadanto/20140471?toc=1>.
- [11] JCGM 100. 2008., Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint committee for guides in metrology. 134 s.
- [12] JCGM 104. 2009, Evaluation of measurement data: An introduction to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" and related documents. Joint Committee for Guides in Metrology, Working Group 1. 20 s.

- [13] Technical report no. 1/2002, Measurement uncertainty in testing, Berlin, Germany: European Federation of National Associations of Measurement, Testing and Analytical Laboratories (EUROLAB). 27 s.
- [14] SFS-EN ISO 14253-2:en. 2011, Geometrical product specifications (GPS): Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 2: Guidance for the estimation of uncertainty, in calibration of measuring equipment and in product verification, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 75 s.
- [15] Suomen standardisoimisliitto SFS ry, "ISO 9000 Laadunhallinta," [Online]. Saatavilla: <http://www.sfs.fi/iso9000>. [Viitattu 09.03.2016].
- [16] SFS-EN ISO 9001. 2015, Laadunhallintajärjestelmät: Vaatimukset, Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 76 s.
- [17] "The ISO Survey of Management System Standard Certifications (1993-2014): ISO 9001 - Quality management systems - Requirements," 2015. Saatavilla: <http://www.iso.org/iso/iso-survey>. [Viitattu 22.2.2016].
- [18] ISO International organization for standardization, "ISO 9000 - Quality Management," [Online]. Saatavilla: http://www.iso.org/iso/home/standards/management-standards/iso_9000.htm. [Viitattu 22.3.2016].
- [19] AQAP - 2009. 2010., NATO Guidance on the use of AQAP 2000 series. ed. 3., North Atlantic Treaty Organization, NATO Standardization Agency. 68 s.
- [20] FD X 07-007. 2005, Guide d'application de la norme NF EN ISO 10012 «Systèmes de management de la mesure —Exigences pour les processus et les équipements de mesure» (Ranskaksi). Paris, la France: l'Association Française de Normalisation (AFNOR). 20 s.
- [21] SFS-EN ISO 17025. 2005, Testaus- ja kalibrointilaboratorioiden pätevyys: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. 64 s.

Liiteluettelo

Liite 1: SFS-EN ISO 10012:2003 mittausten hallintajärjestelmää koskevat vaatimukset. 5 sivua.

Liite 2: Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje. 4 sivua.

Liite 3: Ohje ISO 10012 mukaisen mittausprosessin kuvaamiseen. 5 sivua.

Liite 4: Ohje mittausepävarmuuden määrittämiseen. 6 sivua.

Liite 5: Mittalaitteiden hallinta, prosessikaavio. 1 sivu.

Liite 6: Kaliiperimittausprosessin kuvaus. 6 sivua.

Liite 1: SFS-EN ISO 10012:2003 mittausten hallintajärjestelmää koskevat vaatimukset

1 Soveltamisala	<i>Otsikko</i>
2 Viittaukset	<i>Otsikko</i>
3 Termit ja määritelmät	<i>Otsikko</i>
4 Yleiset vaatimukset	Mittausten hallintajärjestelmän tulee varmistaa, että määritetyt metrologiset vaatimukset täytetään. Organisaation tulee määrittää ne mittausprosessit ja mittauslaitteistot, joita tämän kansainvälisen standardin vaatimukset koskevat. Kun päätetään mittausten hallintajärjestelmän soveltamisalasta ja laajuudesta, tulee ottaa huomioon riskit ja mahdolliset seuraukset, jos metrologisia vaatimuksia ei kyetä täyttämään. Mittausten hallintajärjestelmään sisältyy nimettyjen mittausprosessien ohjaus ja mittauslaitteistojen metrologinen varmennus sekä tarvittavat tukiprosessit. Mittausten hallintajärjestelmässä olevia mittausprosesseja tulee valvoa ja ohjata (ks. 7.2). Kaikki mittausten hallintajärjestelmässä olevat mittauslaitteistot tulee varmentaa (ks. 7.1). Mittausten hallintajärjestelmään tehtävät muutokset tulee tehdä organisaation menettelyohjeiden mukaisesti.
5 Johdon vastuu	<i>Otsikko</i>
5.1 Metrologiatoimi	Organisaation tulee määrittellä metrologitoimi. Organisaation johdon tulee varmistaa, että metrologiatoimen järjestämiseen ja ylläpitämiseen on tarvittavat resurssit. Metrologiatoimen johdon tulee luoda, dokumentoida ja ylläpitää mittausten hallintajärjestelmää ja jatkuvasti parantaa sen vaikuttavuutta.
5.2 Asiakaslähtöisyys	Metrologiatoimen johdon tulee varmistaa, että a) asiakkaan mittausta koskevat vaatimukset määritetään ja muutetaan metrologisiksi vaatimuksiksi b) mittausten hallintajärjestelmä täyttää asiakkaan metrologiset vaatimukset ja c) asiakkaan määrittelemien vaatimusten täyttyminen voidaan osoittaa.
5.3 Laatutavoitteet	Metrologiatoimen johdon tulee määrittää ja asettaa mitattavissa olevat laatutavoitteet mittausten hallintajärjestelmälle. Tavoitteelliset suorituskykykriteerit ja menettelyt mittausprosesseille sekä niiden ohjaamiselle tulee määrittää.
5.4 Johdon katselmus	Organisaation johdon tulee järjestelmällisesti katselmoida mittausten hallintajärjestelmä ennalta suunnitelluin aikavälein varmistaakseen sen jatkuvan riittävyden, tehokkuuden ja sopivuuden. Johdon tulee varmistaa, että mittausten hallintajärjestelmän katselmointiin tarvittavat resurssit ovat käytettävissä. Metrologiatoimen johdon tulee käyttää johdon katselmuksen tuloksia tarpeen mukaan järjestelmän muuttamiseen, mittausprosessien parantamiseen (ks. luku 8) ja laatutavoitteiden katselmointiin. Kaikkien toimenpiteiden tulokset tulee tallentaa.
6 Resurssien hallinta	<i>Otsikko</i>
6.1 Henkilöresurssi	<i>Otsikko</i>
6.1.1 Henkilöstön vastuut	Metrologiatoimen johdon tulee määrittää ja dokumentoida kaikkien niiden henkilöiden vastuut, jotka on nimitetty toimimaan mittausten hallintajärjestelmässä ja ohjaamaan sitä.
6.1.2 Pätevyys ja koulutus	Metrologiatoimen johdon tulee varmistaa, että mittausten hallintajärjestelmässä toimivat henkilöt ovat osoittaneet kykynsä heille annettujen tehtävien suorittamiseen. Kaikki tarvittavat erityiset ammattitaidot tulee määrittellä. Metrologiatoimen johdon tulee varmistaa, että koulutusta annetaan ottaen huomioon tunnistetut tarpeet, koulutuksesta ylläpidetään tallenteita ja että koulutuksen tehokkuus arvioidaan ja arvioinnista tehdään tallenteet. Henkilöstö tulee saattaa tietoiseksi vastuistaan ja velvollisuuksistaan sekä heidän toimintansa vaikutuksesta mittausten hallintajärjestelmän vaikuttavuuteen ja tuotteen laatuun. Kun käytetään henkilöitä, jotka ovat suorittamassa harjoittelua, tulee järjestää riittävä työnohjaus.
6.2 Informaatioresurssit	<i>Otsikko</i>
6.2.1 Menettelyohjeet	Mittausten hallintajärjestelmän menettelyt tulee riittävässä määrin dokumentoida ja kelpuuttaa siinä määrin kuin se on tarpeen asianmukaisen toteutuksen, yhdenmukaisen soveltamisen ja mittaustulosten kelpoisuuden varmistamiseksi. Uudet menettelyt tai menettelyohjeisiin tehdyt muutokset tulee hyväksyä ja niitä tulee valvoa. Menettelyohjeiden tulee olla ajan tasalla, saatavilla ja ne tulee luovuttaa käyttöön tarvittaessa.

6.2.2 Tietokoneohjelmat	Mittausprosesseissa ja -tuloksien laskennassa käytetyt tietokoneohjelmat tulee kirjata ja yksilöidä ja niitä tulee valvoa, jotta voidaan varmistaa niiden soveltuvuus jatkuvassa käytössä. Tietokoneohjelma ja sen jokainen versio tulee testata ja/tai kelpuuttaa ennen käyttöönnottoa, hyväksyä käyttöön ja arkistoida. Testaus tulee suorittaa tarpeellisessa laajuudessa, jotta voidaan varmistaa mittaustulosten oikeellisuus.
6.2.3 Tallenteet	Mittausten hallintajärjestelmän toiminnassa tarvittavaa informaatiota sisältävät tallenteet tulee ylläpitää. Menettelyohjeissa tulee varmistaa tallenteiden tunnistaminen, säilytys, suojaaminen, esille saanti, säilytysaika ja hävittäminen.
6.2.4 Tunnistaminen	Mittauslaitteistot ja tekniset menettelyohjeet, joita käytetään mittausten hallintajärjestelmässä, tulee selvästi tunnistaa joko erikseen tai yhdessä. Laitteistojen metrologisen varmennuksen tilasta tulee olla tunnistettu. Laitteisto, joka on varmennettu käytettäväksi vain tietyssä mittausprosessissa tai prosesseissa, tulee selvästi tunnistaa tai muuten valvoa, että niitä ei oteta muuhun käyttöön. Sellainen laitteisto, jota käytetään mittausten hallintajärjestelmässä, tulee olla erotettavissa muista laitteistoista.
6.3 Materiaaliresurssit	Otsikko
6.3.1 Mittauslaitteistot	Kaikkien sellaisten mittauslaitteistojen, jotka ovat tarpeen määritettyjen metrologisten vaatimusten täyttämiseksi, tulee olla saatavilla ja tunnistettavissa mittausten hallintajärjestelmässä. Mittauslaitteen kalibroinnin tulee olla voimassa ennen kuin se varmennetaan. Mittauslaitteistoja tulee käyttää tarvittavissa määrin valvotussa ja tunnetussa ympäristössä, jotta varmistetaan kelvolliset mittaustulokset. Vaikutussuureita valvovat ja rekisteröivät mittauslaitteistot tulee sisällyttää mittausten hallintajärjestelmään. Metrologiatoimen johdon tulee laatia, ylläpitää ja käyttää dokumentoituja menettelyjä mittauslaitteistojen vastaanotolle, käsittelylle, kuljetukselle, säilyttämiselle ja lähettämiselle, jotta estetään niiden väärinkäyttö, vahingoittuminen ja muutokset metrologisissa ominaisuuksissa. Menettelyohjeet tulee olla myös siitä, miten mittauslaitteisto otetaan mukaan mittausten hallintajärjestelmään tai poistetaan järjestelmästä.
6.3.2 Ympäristöolosuhteet	Ympäristöolosuhteet, jotka tarvitaan mittausten hallintajärjestelmässä olevien mittausprosessien tehokkaan toiminnan varmistamiseksi, tulee dokumentoida. Mittaukseen vaikuttavia ympäristöolosuhteita tulee seurata ja tallentaa. Ympäristöolosuhteiden vuoksi tehtävät korjaukset tulee tallentaa ja sisällyttää mittaustuloksiin.
6.4 Ulkopuoliset toimittajat	Metrologiatoimen johdon tulee määrittää ja dokumentoida vaatimukset tuotteille ja palveluille, joita toimittavat mittausten hallintajärjestelmän ulkopuoliset toimittajat. Ulkopuoliset toimittajat tulee arvioida ja valita sen perusteella, miten he kykenevät täyttämään dokumentoidut vaatimukset. Valinnan, seuraamisen ja arvioinnin kriteerit on määritettävä ja dokumentoitava sekä arvioinnin tulokset tallennettava. Ulkopuolisten toimittajien toimitamista tuotteista ja palveluista tulee ylläpitää tallenteita.
7 Metrologinen varmennus ja mittausprosessien toteuttaminen	Otsikko
7.1 Metrologinen varmennus	Otsikko
7.1.1 Yleistä	Metrologinen varmennus tulee suunnitella ja toteuttaa sen varmistamiseksi, että mittauslaitteiston metrologiset ominaisuudet täyttävät mittausprosessin metrologiset vaatimukset. Metrologiseen varmennukseen sisältyy mittauslaitteiston kalibrointi ja mittauslaitteiston todentaminen. Mittauslaitteiston metrologiseen varmennukseen liittyvä tieto, sisältäen mahdolliset rajoitukset ja erityisvaatimukset, tulee olla laitteiston käyttäjän helposti saatavilla. Mittauslaitteiston metrologisten ominaisuuksien tulee olla sopivia sen aiottuun käyttöön.
7.1.2 Metrologisten varmennusten aikavälit	Menettelyohjeissa tulee kuvata menetelmät, joita käytetään määritettäessä metrologisen varmennuksen aikavälejä tai niiden muuttamista. Näitä aikavälejä tulee katselmoida ja tarpeen mukaan muuttaa, jotta jatkuvasti varmistetaan, että määritetyt metrologiset vaatimukset saavutetaan. Aina kun poikkeavaa mittauslaitteistoa kunnostetaan, viritetään tai muutetaan, sen metrologisen varmennuksen aikaväli tulee tarkistaa.
7.1.3 Laitteistojen viritysten valvonta	Varmennettujen mittauslaitteistojen sellaiset säädöt ja laitteet, joiden asetus vaikuttaa suorituskkyyn tulee sinetöidä taimuutoin varmistaa, että niihin ei tehdä luvattomia muutoksia. Sinetit ja varmistukset tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että heti nähdään, jos ne on rikottu. Metrologisen varmennusprosessin menettelyohjeeseen tulee sisältyä tarvittavat toimenpiteet siltä varalta, että sinetin taivarmistuksen huomataan olevan vaurioitunut, rikki, ohitettu tai se puuttuu

7.1.4 Metrologisen varmennusprosessin tallenteet	<p>Tehtävään valtuutetun henkilön tulee päivätä ja hyväksyä metrologisen varmennusprosessin tallenteet ja siten todistaa tuloksien oikeellisuus, kun se on tarkoituksenmukaista. Nämä tallenteet tulee säilyttää ja pitää saatavilla. Metrologisen varmennusprosessin tallenteiden tulee osoittaa, että jokainen mittauslaitteiston osa täyttää metrologiset vaatimukset. Tallenteisiin tulee sisältyä tarpeen mukaan seuraavaa:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) kuvaus ja laitteistokohtainen tunniste, jossa on laitteiston valmistaja, tyyppi, sarjanumero, jne. b) päivämäärä, jolloin metrologinen varmennus on saatu valmiiksi c) metrologisen varmennuksen tulos, d) määritetty metrologisen varmennuksen aikaväli e) metrologisen varmennuksen menettelyohjeen tunniste f) määritetty suurin sallittu virhe (tai virheet) g) merkittävät ympäristöolosuhteet ja toteamus tarpeen mukaan tehdyistä korjauksista h) laitteiston kalibrointiin liittyvät epävarmuudet i) yksityiskohdat mahdollisista huoltotoimenpiteistä, kuten tehdyistä virityksistä, kunnostuksista tai muutoksista j) mahdolliset käyttörajoitukset k) metrologisen varmennuksen tehneen henkilön tunniste l) tallennetun informaation oikeellisuudesta vastuussa olevan henkilön tunniste m) yksilöllinen tunniste (kuten sarjanumero) kalibrointitodistuksista ja raporteista sekä muista asiaankuuluvista dokumenteista n) todiste kalibroinnin tulosten jäljitettävyydestä o) metrologiset vaatimukset aiotulle käytölle p) kalibroinnin tulokset, jotka on saatu mahdollisen virityksen, muutoksen tai korjauksen jälkeen ja tarvittaessa myös ennen viritystä, muutosta tai kunnostamista. Metrologiatoimen tulee varmistaa, että ainoastaan valtuutetut henkilöt saavat laatia, muuttaa, jakaa tai mitätöidä tallenteita.
7.2 Mittausprosessi	<i>Otsikko</i>
7.2.1 Yleistä	<p>Mittausprosessit, jotka ovat osa mittauksen hallintajärjestelmää, tulee suunnitella, kelpuuttaa, toteuttaa, dokumentoida ja niitä tulee ohjata. Mittausprosessiin vaikuttavat merkittävät vaikutussuureet tulee tunnistaa ja ottaa huomioon. Täydellisen erittelyn jokaisesta mittausprosessista tulee sisältää kaikki asiaankuuluvat laitteistot, mittausohjeet, mittauksessa käytettävät tietokoneohjelmat, käyttöolosuhteet, suorittajan pätevyydet ja kaikki muut tekijät, jotka vaikuttavat mittauksien luotettavuuteen. Mittausprosesseja tulee ohjata menettelyohjeiden mukaisesti.</p>
7.2.2 Mittausprosessin suunnittelu	<p>Metrologiset vaatimukset tulee määrittää perustuen asiakkaan, organisaation, lainsäädännön ja säädösten vaatimuksiin. Mittausprosessit, jotka on suunniteltu täyttämään nämä määritellyt vaatimukset, tulee dokumentoida, soveltuvin osin kelpuuttaa ja tarvittaessa hyväksyttävä asiakkaalla.</p> <p>Jokaiselle mittausprosessille tulee tunnistaa asiaankuuluvat prosessin osatekijät ja ohjaustoimenpiteet. Osatekijöiden ja ohjauksen rajojen tulee olla suhteessa riskiin, että määritettyjä vaatimuksia ei kyetä täyttämään. Näiden prosessin osatekijöiden ja ohjauksen tulee sisältää suorittajien, laitteistojen, ympäristöolosuhteiden, vaikutussuureiden ja käytettävien menetelmien vaikutukset. Mittausprosessi tulee suunnitella siten, että ehkäistään virheelliset mittauks tulokset ja varmistetaan puutteiden välitön havaitseminen sekä oikea-aikaiset korjaavat toimenpiteet. Mittausprosessin aiotussa käytössä tarvittavat suorituskykyyn liittyvät ominaisuudet tulee tunnistaa ja määrittää</p>
7.2.3 Mittausprosessin toteuttaminen	<p>Mittausprosessi tulee toteuttaa valvotuissa olosuhteissa, jotka on suunniteltu metrologisten vaatimusten täyttämiseksi.</p> <p>Valvottaviin olosuhteisiin tulee sisältyä:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) varmennettujen laitteistojen käyttäminen b) kelpuutettujen mittausohjeiden soveltaminen c) tarvittavien informaatioresurssien saatavuus d) tarvittavien ympäristöolosuhteiden ylläpitäminen e) pätevän henkilöstön käyttäminen f) tuloksien asianmukainen raportointi ja g) määritetyn seurannan toteuttaminen.

7.2.4 Mittausprosessin tallenteet	<p>Metrologiatoimen tulee ylläpitää tallenteita, jotta se voisi osoittaa täyttävänsä mittausprosessin vaatimukset. Tallenteisiin sisältyy seuraavaa:</p> <p>a) täydellinen kuvaus toteutetuista mittausprosesseista, sisältäen kaikki käytetyt osatekijät (esimerkiksi suorittajat, mittauslaitteistot tai tarkistusnormaalit) ja asiaankuuluvat käyttöolosuhteet</p> <p>b) asiaankuuluvat mittausprosessien ohjausjärjestelmästä saadut tiedot mukaan lukien kaikki mittausepävarmuuteen liittyvät tiedot</p> <p>c) kaikki toimenpiteet, jotka on tehty mittausprosessien ohjaustiedon tuloksena</p> <p>d) päivämäärät, jolloin jokainen mittausprosessin ohjaustoimenpide on suoritettu</p> <p>e) kaikkien asiaankuuluvien todennusdokumenttien tunnisteet</p> <p>f) niiden henkilöiden tunnisteet, joiden vastuulla on toimittaa informaatiota tallenteisiin</p> <p>g) henkilöiden (vaaditut ja saavutetut) kyvyt. Metrologiatoimen tulee varmistaa, että ainoastaan valtuutetut henkilöt saavat laatia, muuttaa, jakaa tai tuhota tallenteita.</p>
7.3 Mittausten epävarmuus ja jäljitettävyys	<i>Otsikko</i>
7.3.1 Mittausepävarmuus	<p>Mittausepävarmuus tulee arvioida jokaiselle mittauksien hallintajärjestelmään kuuluvalla mittausprosessille (ks. 5.1).</p> <p>Epävarmuuden arvioinnit tulee tallentaa. Mittausepävarmuuksien analysointi tulee suorittaa ennen kuin mittauslaitteisto metrologisesti varmennetaan ja mittausprosessi kelpuutetaan. Kaikki tunnetut mittauksen vaihtelun lähteet tulee dokumentoida.</p>
7.3.2 Jäljitettävyys	<p>Metrologiatoimen johdon tulee varmistaa, että kaikki mittautulokset ovat jäljitettävissä kansainväliseen mittayksikköjärjestelmään (SI). Mittausten jäljitettävyys SI-yksiköihin tulee saavuttaa vertaamalla asianmukaiseen primaarinormaaliin tai viittaamalla luonnonvakioon, jonka arvo on tunnettu asianmukaisina SI-yksikköinä ja jota yleinen paino- ja mittakonferenssi (General Conference on Weights and Measures, CGPM) ja kansainvälinen paino ja mittakomitea (International Committee for Weights and Measures, CIPM) ovat suositelleet.</p> <p>Sopimussuhteissa käytettäviä sovittuja mittanormaaleja tulee käyttää vain, kun SI-yksiköihin perustuvia mittanormaaleja tai tunnustettuja luonnonvakioita ei ole olemassa. Mittauksien tulosten jäljitettävyyden tallenteita tulee säilyttää niin kauan kuin mittausten hallintajärjestelmän, asiakkaan tai lakisääteisten ja muiden säädösten vaatimukset edellyttävät.</p>
8 Mittausten hallintajärjestelmän analysointi ja parantaminen	<i>Otsikko</i>
8.1 Yleistä	<p>Metrologiatoimen tulee suunnitella ja toteuttaa seuranta, analysointia ja parannuksia, joita tarvitaan</p> <p>a) varmistamaan mittausten hallintajärjestelmän yhdenmukaisuus tämän kansainvälisen standardin kanssa ja</p> <p>b) parantamaan jatkuvasti mittausten hallintajärjestelmää.</p>
8.2 Auditointi ja seuranta	<i>Otsikko</i>
8.2.1 Yleistä	Metrologiatoimen tulee käyttää auditointia, seuranta ja muita tekniikoita tarpeen mukaan määrittääkseen mittausten hallintajärjestelmänsoveltuvuuden ja tehokkuuden.
8.2.2 Asiakastyytyväisyys	Metrologiatoimen tulee seurata asiakkaan tyytyväisyyteen liittyvää tietoa päätelläkseen, ovatko asiakkaan metrologiset tarpeet tyydytetty. Menetelmät tämän tiedon hankkimiseksi ja käyttämiseksi tulee määrittää.
8.2.3 Mittausten hallintajärjestelmän auditointi	<p>Metrologiatoimen tulee suunnitella ja suorittaa mittausten hallintajärjestelmän auditointeja varmistaa sen jatkuva tehokas toiminta ja yhdenmukaisuus määriteltyjen vaatimusten kanssa. Auditointien tulokset tulee raportoida asianomaiselle organisaation johdolle.</p> <p>Kaikki mittausten hallintajärjestelmän auditointien tulokset ja kaikki järjestelmään tehdyt muutokset tulee tallentaa. Organisaation tulee varmistaa, että havaittujen poikkeamien ja niiden syiden poistamiseksi tarvittavat toimenpiteet tehdään ilman aiheutonta viivettä.</p>
8.2.4 Mittausten hallintajärjestelmän seuranta	<p>Mittausten hallintajärjestelmään kuuluvia metrologisia varmennus- ja mittausprosesseja tulee seurata. Seuranta tulee suorittaa menettelyohjeiden mukaisesti ja ennalta määrittävinä ajankohtina. Tähän tulee sisältyä soveltuvien menettelyjen määrittäminen, mukaan luettuna tilastolliset menetelmät, ja missä laajuudessa niitä käytetään.</p> <p>Mittausten hallintajärjestelmän seuraamisen tulee auttaa ehkäisemään vaatimuksista poikkeamista varmistamalla välitön puutteiden havaitseminen ja oikea-aikaiset toimenpiteet niiden korjaamiseksi. Tämän seuraamisen tulee olla suhteessa riskiin, että ei onnistuta täyttämään määriteltyjä vaatimuksia.</p> <p>Mittaus- ja varmennusprosessien seurannan tulokset ja kaikki syntyvät korjaavat toimenpiteet pitää dokumentoida sen osoittamiseksi, että mittaus- ja varmennusprosessit jatkuvasti täyttävät asetetut vaatimukset.</p>
8.3 Poikkeamien ohjaus	<i>Otsikko</i>

8.3.1 Poikkeavat mittausten hallintajärjestelmät	Metrologiatoimen tulee varmistaa, että kaikki poikkeamat havaitaan, ja ryhtyä välittömästi toimenpiteisiin.
8.3.2 Poikkeavat mittausprosessit	Jokainen mittausprosessi, jonka tiedetään tai epäillään tuottavan virheellisiä mittaustuloksia, tulee asianmukaisesti tunnistaa ja sitä ei tule käyttää ennen kuin tarkoituksenmukaiset toimenpiteet on tehty. Jos poikkeava mittausprosessi tunnistetaan, prosessin käyttäjän tulee määrittää mahdolliset seuraukset, tehdä tarvittavat korjaukset ja suorittaa korjaava toimenpide Mittausprosessi, jota on muutettu poikkeaman vuoksi, tulee kelpuuttaa ennen kuin sitä käytetään.
8.3.3 Poikkeava mittauslaitteisto	Mikä tahansa varmennettu mittauslaitteisto, josta epäillään tai tiedetään, että <ul style="list-style-type: none"> a) se on vahingoittunut b) sitä on ylikuormitettu c) se toimii huonosti siten, että sen aiottu käyttö voi mitätöityä d) se tuottaa virheellisiä mittaustuloksia e) se on ylittänyt suunnitellun varmennusaikavälin f) sitä on käsitelty väärin g) sen sinetti tai varmistus on vahingoittunut tai rikki h) se on joutunut vaikutussuureiden vaikutuspiiriin, jotka voivat epäsuotuisesti vaikuttaa sen aiottuun käyttöön (esimerkiksi sähkömagneettinen kenttä, pöly) tulee ottaa pois käytöstä ottamalla se erilleen tai se tulee merkitä selvästi. Poikkeama tulee tarkistaa ja laatia poikkeamaraportti. Tällaista laitteistoa ei tule ottaa uudelleenkäyttöön, ennen kuin syy sen poikkeamaan on poistettu ja se on varmennettu uudelleen. Sellainen poikkeava mittauslaitteisto, jota ei ole voitu palauttaa täyttämään sen aiottuja metrologisia ominaisuuksia, tulee selvästi merkitä tai muuten tunnistaa. Jos tällaiselle laitteistolle tehdään metrologinen varmennus muuhun käyttöön, tulee varmistaa, että muutettu tilanne on selvästi ilmeinen ja kaikki mahdolliset rajoitukset on tunnistettu. Jos metrologisen varmennuksen tulos ennen mitään viritystä tai kunnostamista osoittaa, että mittauslaitteisto ei täyttänyt metrologisia vaatimuksia, jolloin mittaustulosten oikeellisuus on saattanut vaarantua, laitteiston käyttäjän tulee määrittää mahdolliset seuraukset ja ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin. Niihin voi sisältyä niiden tuotteiden uusintatarkastukset, joiden valmistuksen yhteydessä tehdyissä mittauksissa on käytetty poikkeavaa laitteistoa.
8.4 Parantaminen	<i>Otsikko</i>
8.4.1 Yleistä	Metrologiatoimen tulee suunnitella ja johtaa mittausten hallintajärjestelmän jatkuvaa parantamista perustuen auditoitien tuloksiin, johdon katselmuksiin ja muihin asiaankuuluviin tekijöihin, kuten asiakaspalautteisiin. Metrologiatoimen tulee tarkastella ja tunnistaa potentiaalisia mahdollisuuksia mittausten hallintajärjestelmän parantamiseksi ja muuttaa sitä tarpeen mukaan.
8.4.2 Korjaavat toimenpiteet	Jos jokin merkityksellinen mittausten hallintajärjestelmän osa-alue ei täytä määritettyjä vaatimuksia tai jos jokin merkityksellinen tieto osoittautuu kelvottomaksi, tulee selvittää syyt poikkeamiin ja eliminoida ne. Korjaaminen ja korjaavan toimenpiteen ratkaisut tulee todentaa, ennen kuin mittausprosessi otetaan uudelleenkäyttöön. Korjaavaan toimenpiteeseen ryhtymisen kriteeri tulee dokumentoida.
8.4.3 Ehkäisevät toimenpiteet	Metrologiatoimen tulee määrittää toimenpiteet, joilla eliminoidaan mittaus- tai varmennuspoikkeamien syyt, jotta estetään niiden tapahtuminen. Ehkäisevien toimenpiteiden tulee olla tarkoituksenmukaisia mahdollisten ongelmien vaikutuksiin nähden. Tulee laatia menettelyohje, jossa annetaan vaatimukset <ul style="list-style-type: none"> a) määritellä mahdolliset poikkeamat ja niiden syyt b) arvioida tarve toimenpiteelle, jolla estetään poikkeamien tapahtuminen c) päättää ja toteuttaa tarvittava toimenpide d) tallettaa suoritettujen toimenpiteiden tulokset ja e) katselmoida suoritettu ehkäisevä toimenpide.

Liite 2: Mittausten hallintajärjestelmän menettelyohje

Laatinut: Santeri Markkula

Hyväksynyt:

1 Yleistä

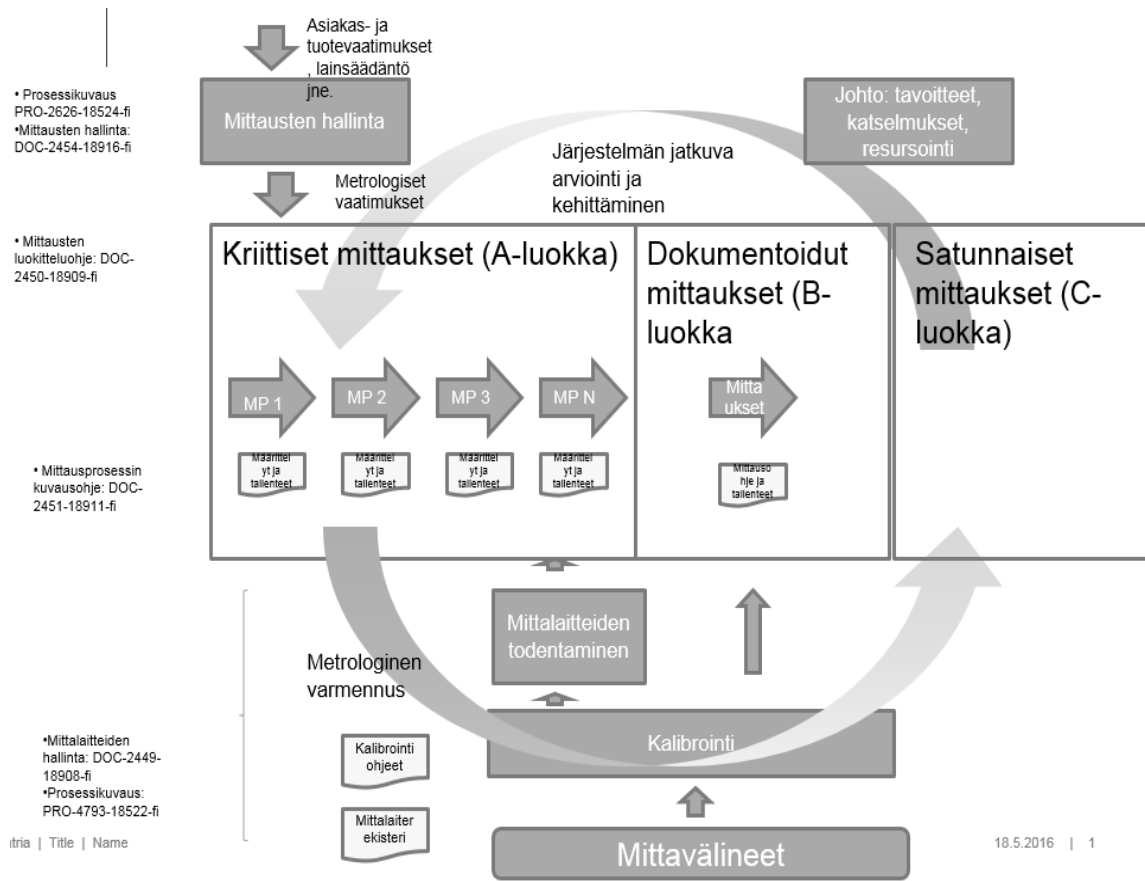
Tässä dokumentissa määritellään Patria Land Systems Oy:n (myöhemmin Land) AQAP 2110 ed.3 ja SFS-EN ISO 10012:2003 standardien tarkoittama mittausten hallintajärjestelmä, joka sisältää mittalaitteiden hallintajärjestelmän. Mittausten hallintajärjestelmä on kuvattu prosessikuvauksessa **PRO-xxxxxx**. Mittalaitteiden hallintajärjestelmä on kuvattu prosessikuvauksessa **PRO-xxxxxx** ja menettelyohjeessa **DOC-xxxxxx**

2 Tarkoitus ja laajuus

Mittausten hallintajärjestelmän tarkoituksena on varmistaa asiakkaiden mittauksiin liittyvien vaatimusten täyttyminen sekä mittaustulosten paikkansa pitävyys ja siten vähentää virheellisten mittaustulosten aiheuttamia laatupoikkeamia, mikä johtaa asiakastyytyväisyyden parantumiseen. Mittausten hallintajärjestelmällä varmistetaan Landissä suoritettavien mittausten tulosten metrologinen jäljitettävyys, toistettavuus ja luotettavuus käsittelemällä mittauksia erillisinä mittausprosesseina. Kriittiset mittausprosessit on kuvattava ja niistä syntyy tässä dokumentissa määrätty tallenteen.

Mittausten hallintajärjestelmää sovelletaan Landissa vain kriittisiin mittauksiin. Mittauksella ja mittausprosessilla tarkoitetaan sarjaa toimintoja, joilla määritetään suureen arvo eli mittauksesta saadaan tuloksena jokin lukuarvo. Esimerkiksi NDT-tarkastukset eivät siis ole mittauksia. Mittaukset luokitellaan ABC – luokkiin menettelyohjeen **DOC-xxxxxx** mukaisesti. Kriittisyyden arviointi tallennetaan mittausprosessiluetteloon Atonissa **Dxxxxxx**.

Mittausten kriittisyys arvioidaan tuotteistamisprosessissa asiakas-, viranomais-, tuote-, suunnittelu- tai lainsäädännön vaatimusten perusteella huomioiden riski siitä, ettei vaatimuksia saada täytettyä. Vaatimusten perusteella mittausprosessille johdetaan metrologiset vaatimukset menettelyohjeen **DOC-2xxxxx** mukaisesti. Mittausprosessien luokittelu, metrologisten vaatimusten johtaminen ja mittausprosessien kuvaukset katselmoidaan ”Tuotteistaminen” -prosessin SFR, PDR, CDR ja SVR katselmoinneissa. SVR katselmoinnissa lisäksi varmistetaan, että mittaustulokset on raportoitu vaatimusten mukaisesti.



Kuva 6 Mittausten hallintajärjestelmä

3 Mittausprosessit

Kaikki luokkaan A luokitellut mittausprosessit on kuvattava. Kuvauksessa selvittävät asiat on määritelty mittausprosessin kuvausohjeessa **DOC-xxxxxx**. Mittausprosessin kuvaukseen sisältyy metrologisten vaatimusten johtaminen, mittauslaitteiston valinta, mittausepävarmuuden määrittäminen, mittauslaitteiston metrologinen varmentaminen (pl. kalibrointi) ja muiden mittausprosessiin vaikuttavien seikkojen kuvaaminen. Mittausprosessin kuvauksen tekee mittauksen suunnittelija (SEM, suunnittelija, testausinsinööri tms.) Metrologiavastaava avustaa tarvittaessa mittausprosessin kuvauksessa.

Mittausprosessista syntyvät tallenteet:

- Mittausprosessin luokittelu (mittausluettelo): **Dxxxxx**
- Mittausprosessin kuvaus, joka sisältää:
 - Metrologiset vaatimukset
 - Mittauslaitteiston ja -menettelyn kuvauksen
 - Metrologisen varmennuksen
- Mittausepävarmuuslaskelmat (Mittausepävarmuus laskuri **Dxxxxx**)
- Mittauspöytäkirja
- Metrologisen varmennuksen tiedot (Efecte)

Mittausprosessin kuvaukseen liittyvät seuraavat ohjeet:

- Menettelyohje mittausprosessin kuvaamiseen: **DOC-xxxxxxx**
- Menettelyohje metrologisten vaatimusten määrittämiseen asiakasvaatimuksista: **DOC-xxxxxxx**
- Ohje mittausepävarmuuden määrittämiseen: **DOC-xxxxxxx**
- Excel –laskuri mittausepävarmuuden määrittämiseen (Atonissa): **Dxxxxxxx**

Mittausepävarmuus on arvioitava jokaiselle mittausprosessille. Metrologiavastaava avustaa tarvittaessa mittausepävarmuuden ja ISO 10012 standardin mukaisessa mittausprosessin kuvaamisessa.

4 Mittalaitteiden hallinta

Mittalaitteiden hallintajärjestelmä vastaa mittalaitteiden ylläpidosta, kalibroinnista, määräaikaista metrologisista varmennuksista ja mittalaiterekisterin ylläpidosta. Mittalaitteiden hallintajärjestelmä tuottaa ja ylläpitää mittalaitteiden tallenteita ja tietoja. Mittalaitteiden hallintajärjestelmä on kuvattu prosessikuvauksessa PRO-xxxxxx ja menettelyohjeessa DOC-xxxxxxx

5 Tietokoneohjelmat

Mittausten hallintajärjestelmässä mittaustulosten tallentamiseen, laskemiseen käytettävät tai muuten mahdollisesti mittaustuloksiin vaikuttavat tietokoneohjelmat ja niiden jokainen versio tulee tarpeellisissa määrin testata ja kelpuuttaa ennen käyttöä. Tietokoneohjelmat on suojattava muutoksilta, jotka saattavat vaikuttaa mittaustulosten oikeellisuuteen. Yleisesti käytössä olevia kaupallisia ohjelmia ei tarvitse kelpuuttaa.

6 Vaatimukset alihankkijoille

Niiden alihankkijoiden, jotka toimittavat Patrialle varta vasten suunniteltuja tai kehitettyjä tuotteita on AQAP 2009 ja AQAP 2110 mukaisesti toteutettava ISO 10012 standardin tarkoittamaa mittausten hallintajärjestelmää. Land määrittelee ne kriittiset mittausprosessit, joissa alihankkijoiden vaaditaan noudattavan ISO 10012 standardin vaatimuksia ja ilmoittaa tästä alihankkijalle. Näistä mittausprosesseista on toimitettava Landiin ISO 10012 vaatimukset täyttävä mittauspöytäkirja ja pyydettyessä täydellinen erittely mittausprosessista.

7 Parantaminen

Mittausten hallintajärjestelmää parannetaan Landin toimintajärjestelmän jatkuvan parantamisen prosessin mukaisesti auditoinneilla ja ”Lessons learned” –menettelyllä. Auditoinnit järjestetään Landin auditointiohjelman mukaisesti.

8 Poikkeamat

Mittausten hallintajärjestelmässä, mittalaitteiden hallintajärjestelmässä ja mittausprosesseissa esiintyvät poikkeamat käsitellään Landin laatuongelmailmoitus menettelyn kautta (LOI). Poikkeamien käsittely IMS:issä: **WEB-xxxxxxx**

9 Pätevyydet ja koulutus

Kaikilta mittausten hallintajärjestelmässä toimivilta henkilöiltä vaadittavat kelpuutukset on määritettävä. Metrologiavastaava vastaa mahdollisesti tarvittavan koulutuksen antamisesta tai järjestämisestä. Kelpuutus- ja koulutustiedot tallennetaan Patrian HR-järjestelmään.

Liite 3: Ohje ISO 10012 mukaisen mittausprosessin kuvaamiseen

Laatinut: Santeri Markkula

Hyväksynyt:

ISO 10012 standardin mukaan kukin mittauksen hallintajärjestelmään kuuluva mittausprosessi on suunniteltava, määriteltävä ja mittausprosessista on synnyttävä tiettyjä tallenteita. Tässä ohjeessa kerrotaan mitä asioita standardi vaatii määritettäväksi kullekin mittausprosessille ja opastaa näiden määrittämisessä. Ohjeessa opastetaan myös muiden mittauksen kannalta oleellisten seikkojen kuvaamiseen. Tämän ohjeen sisällysluettelo vastaa mittausprosessin määrittelystä syntyvää tallennetta

Tämä mittausprosessin määrittely on tehtävä kaikille mittauksille ja testauksille, jotka on määritelty mittauksen luokitteluohjeen mukaisesti kuuluvaksi **A-luokkaan**. Tämä ohje on hyvä lähtökohta myös muiden mittauksen / testauksen suunnitteluun.

Mikäli tässä määriteltävää mittausta / testausta tehdään tuotannossa jatkuvasti, on syytä kirjoittaa myös lyhyempi mittausohje, jossa selostetaan vain mittauksen / testauksen suorittaminen ja mittauksen / testauksen suorittamisen kannalta oleelliset tiedot.

1 Yleistä

Mittausprosessin määrittelyn alussa kerrotaan mittauksesta yleisesti. Samoin kerrotaan mitä standardeja mittausprosessi noudattaa, kenelle dokumentti on tarkoitettu ja mikä on dokumentin tarkoitus. Esim:

”Tässä dokumentissa määritellään NEMO/AMOS -tuliputken kaliiperin mittausprosessi standardin SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimuksia noudattaen. Tämä dokumentti on oltava kaliiperimittausta suorittavien henkilöiden saatavilla ja näiden henkilöiden on perehdyttävä tähän dokumenttiin ennen mittauksen suorittamista. Tätä dokumenttia sekä muita asiakirjoja, joihin viitataan tässä dokumentissa, hallinnoidaan Patria Land:in toimintajärjestelmän mukaisesti.”

2 Mittaus

Toisessa luvussa määritellään itse mittaukseen liittyvät seikat. Oleellista on selvittää **miksi** mittaus tehdään, mikä on mitattava suure ja mihin asioihin mitattava suure tai ilmiö vaikuttaa.

Esim:

Kaliiperimittauksella varmistetaan, että kaliiperi on vaatimusten mukainen. Liian pieni kaliiperi estää aseella ampumisen täysin ja toisaalta hieman liian suuri kaliiperi huonontaa aseeseen osumatarkkuutta. Liian suuri kaliiperi saattaa myös tarkoittaa liian pientä materiaalivahvuutta putken seinämässä ja siten aiheuttaa vaaraa.

2.1 Metrologiset vaatimukset

ISO 10012 mukaan asiakkaan/viranomaisen vaatimuksista tulee määrittää metrologiset vaatimukset. Metrologiset vaatimukset ovat... Metrologisiin vaatimuksiin vastataan mittauslaitteiston metrologisilla ominaisuuksilla, eli mittalaitteen täytyy täyttää määritetyt metrologiset vaatimukset ja tämän varmistamista kutsutaan metrologiseksi varmentamiseksi. Metrologisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi:

- mittausalue
- harha
- toistokyky
- stabiilius
- hystereesi
- ajautuminen, ajautuma
- vaikutussuureiden vaikutus
- resoluutio
- erottelukynnys
- virhe
- kuollut alue
- jne.

Metrologisten vaatimusten määrittämistä asiakasvaatimuksista opastetaan IMS dokumentissa: DOC-2452-18918-fi

Esim:

NEMO/AMOS –heittimillä tulee kyetä ampumaan nimellismitaltaan 120 mm kranaatteja. Tästä seuraa, että heittimen tuliputken kaliiperin on oltava 120 mm, eli alan vaatimukset huomioiden uuden tuliputken halkaisijan on oltava 120 mm Hx (+0,0xx/0 mm) tuliputken suun puoleisessa päässä ja 120,xx mm Hx (+0,0xx/0 mm) tuliputken alkupäässä.

Edellä esitetty mitta voidaan mitata mittalaitteella, joka täyttää seuraavat metrologiset vaatimukset:

Mittalaitteen mittausalue 119,9 – 120,5 mm

Mittalaitteen resoluutio 0,001 mm

Mittalaitteen erottelukynnys 0,002 mm

Suurin sallittu mittausepävarmuus $\pm 0,01$ mm 95,45 % luottamustasolla ($k=2$)

Mitatun kohdan paikka tuliputken pitkittäisakselilla pystyttävä tunnistamaan suuripiirteisesti

2.2 Mittauslaitteisto

Mittauslaitteistoa valittaessa on huomioitava kohdan 2.1 metrologiset vaatimukset, jotka mittauslaitteiston täytettävä.

Tässä kuvataan mittausprosessissa käytettävä mittauslaitteisto ja mittauslaitteiston toiminta tarvittavassa laajuudessa, kuitenkin niin, että lukijalle syntyy selkeä käsitys mittauslaitteiden toiminnasta ja toimintaperiaatteesta, mikäli se ei ole itsestään selvää tai merkityksetöntä mittauksen suorittamisen kannalta. Samoin kuvataan mittalaitteen toimintaa mittauksen

aikana. Mittauksessa sallittujen mittalaitteyksilöiden ja mittausohjelmistojen tunnukset ilmoitetaan tässä. Myös mittauslaitteiston metrologiset ominaisuudet ilmoitetaan tässä.

Esim:

Käytettävät mittalaitteet:

-Työntömitta, digitaalinen, no: xxxx, Mitutoyo, SN: 121243315, 0-200mm, resoluutio: 0,01mm, mittausepävarmuus $\pm 0,1 \text{ mm } k=2$

-Yleismittari, no: yyyy, Fluke 233, SN:13123214, käytetään jännitteen mittausaluetta 0-20V, resoluutio 0,1 V, tarkkuus 0,09 %

-Mittausohjelma tulosten laskemiseen, no: zzzzz, versio 1.1, seuraava katselmointi 10/2018

Käytettävät mittaukseen liittyvät tietokoneohjelmat ja niiden jokainen uusi versio tulee testata ja/tai kelpuuttaa ennen käyttöönottoa ja hyväksyä käyttöön. Ohjelmat tulee myös arkistoida. Yleisesti käytössä olevia ns. kaupallisia ohjelmistoja ei tarvitse kelpuuttaa

Tarvittaessa mittalaitteet on sinetöitävä ja sinetöinnistä oltava merkintä mittalaiterekisterissä, jota voidaan varmistaa, ettei mittauslaitteiston säätöjä/virityksiä muuteta oikeudetta.

2.3 Mittausolosuhteet ja vaikutussuureet

Tässä selostetaan mittauksessa huomioon otettavat olosuhteet ja mittauksen tuloksiin vaikuttavat suuret. Esim. mittausepävarmuuden määrittelyssä tulee usein hyvin ilmi ne vaikutussuureet ja olosuhteet, jotka vaikuttavat merkittävästi mittaustuloksiin.

Mittausolosuhteita ja vaikutussuureita on valvottava tarpeen mukaan. Mittausolosuhteita ja vaikutussuureita valvovat mittalaitteet on oltava metrologisesti varmennettuja ja niiden on oltava tunnistettavissa mittausten hallintajärjestelmässä.

Mittausolosuhteet ja vaikutussuureet: lämpötila, ilmankosteus, tuuli, sumu, magneettikenttä, sähkövirta jne...

Mikäli ympäristöolosuhteiden (esim. lämpötilan) vaikutuksesta tehdään korjauksia mittaustuloksiin, tulee tällaiset menetelmät esitellä tässä. Valvottavista mittausolosuhteista ja vaikutussuureista tehdään tallenteet, eli merkinnät mittausraporttiin. Samoin ympäristöolosuhteiden tai vuoksi tehdyt korjaukset merkitään mittausraporttiin.

2.4 Mittausepävarmuus

Mittausprosessille on määritettävä mittausepävarmuus, jotta määritettyjen metrologisten vaatimusten täytyminen voidaan varmistaa. Mittausepävarmuuden määrittämisen avuksi on tehty erillinen ohje **DOC-xxxxxxx**. ja epävarmuuslaskelmia varten on laskuri **Dxxxxxx** (Aton), Mittausepävarmuuden arvioinnista täytyy syntyä tallenne, jonka pohjana on hyvä käyttää laskuria. Tässä mittausprosessin määrittely dokumentissa voidaan esittää vain laskelmien tulokset

Tässä kerrotaan lyhyesti, merkittävimmät epävarmuuteen vaikuttavat tekijät ja ilmoitetaan mittausepävarmuus valitulla luottamustasolla/kattavuuskertoimella.

Viittaukset tarkempiin epävarmuuslaskelmiin esitellään tässä.

2.5 Pätevyydet

Mittaukseen suorittamiseen vaadittava erityisosaaminen ja mahdollinen kelpuutus mainitaan tässä. Henkilön kelpuutuksesta tulee olla merkintä Patrian HR-järjestelmässä.

2.6 Metrologinen varmennus

Metrologinen varmennus sisältää mittauslaitteiston kalibroinnin sekä todentamisen. Mittalaitteen todentamisella tarkoitetaan mittauslaitteiston metrologisten ominaisuuksien vertaamista metrologisiin vaatimuksiin. Käytännössä siis varmennetaan, että mittauslaitteisto kykenee mittaamaan luotettavasti pyydettyä asiaa ja että mittaustulos on jäljitettävissä kansallisiin mittanormaaleihin ja siten metrologinen varmennusketju säilyy. Jos varmennettua mittalaitetta saa käyttää vain tietyssä mittausprosessissa, merkitään tämä tarralla. Varmennuksesta tehtävä tallenne on tämä dokumentti, ja siihen viitataan mittalaiterekisterissä mittalaitteen tiedoissa. Metrologiavastaava huolehtii tarrasta ja mittausprosessin kuvaukseen viittaamisesta mittalaiterekisterissä.

Tässä kohdassa todetaan miten käytettävä mittauslaitteisto vastaa testitilauksessa tai muussa yhteydessä määritettyihin metrologisiin vaatimuksiin. Metrologisten vaatimusten täyttyminen voidaan hyvin esimerkiksi taulukkona.

Esim:

Vaadittu pituudenmittausalue on 10 -120 mm. Valitun työntömitan mittausalue on 0-200 mm -> vaatimus täyttyy. Mittaustulos on vaadittu 0,5 mm tarkkuudella ja mittausepävarmuudella $\pm 0,2$ mm $k=2$. Työntömitan resoluutio on 0,01 mm ja mittausepävarmuus 0,02 mm $k=2$ -> Mittausepävarmuus on riittävän pieni ja resoluutio riittävä mittaustuloksen ilmoittamiseen 0,5 mm tarkkuudella.

Metrologisen varmennuksen tuloksena todetaan mittauslaitteiston täyttävän sille asetetut vaatimukset tai ettei laitteisto täytä vaatimuksia, jolloin mittauslaitteisto on valittava uudelleen.

3 Mittausraportti

Jokaisesta A-luokan mittauksesta / testauksesta on tehtävä erillinen mittaus-/testausraportti. Tähän listataan ne tiedot, jotka mittausraportista tulee löytyä. Raporttiin on kirjattava ainakin seuraavat tiedot:

- Mittausprosessin määrittelydokumentin tunnus ja revisio (ei tämän dokumentin tunnus)
- Käytetyn mittaus- / testausohjeen tunnus ja revisio
- Käytettyjen mittalaitteiden ja mittausohjelmiston yksilöintitunnukset
- Mittalaitteiden varmennuksen voimassaolon päättymisajankohdat
- Käytetyn mittausohjelman versio
- Kohdassa 2.3 määritettyjen olosuhteiden valvontatiedot (esim. lämpötila, kosteus tms.)
- Olosuhteiden vuoksi tehdyt korjaukset mittaustuloksiin

- Mittaustulokset
- Käytettävät mittausepävarmuuden arvo ja kattavuuskerroin k (yleensä $k=2$)
- Mittauksen suorittamisen päivämäärä
- Mittaajan nimi ja asema

Dokumenttitunnukset voidaan kirjata valmiiksi raporttiin siten, että mittaaja/testaaja kirjaa ylös vain ko. dokumentin revision.

Lisäksi mittauspöytäkirjasta on ilmentävä tarvittavien ympäristö tai vaikutussuureiden tiedot ja näitä valvovien mittalaitteiden varmennustiedot (yksilöintitunnus ja varmennusjakson päättymispäivä).

4 Muuta huomioitavaa

Tässä voidaan esitellä muita tärkeitä mittausprosessissa huomioitavia asioita. Esim. mittausprosessissa esiintyviä tyypillisiä poikkeamia ja niiden syitä voidaan kuvata tähän. Poikkeamien käsittely tapahtuu LOI-prosessin kautta, kuten ohjeessa WEB-xxxxxxx on kuvattu.

5 Liittyvät dokumentit

Tähän vielä listataan kootusti ne dokumentit revisioineen, jotka liittyvät kyseiseen mittausprosessiin. Esimerkiksi: epävarmuuslaskelmat, mittausohje, erilliset mittauslaitteiston käyttöohjeet jne.

- Metrologisten vaatimusten määrittäminen: **DOC-xxxxxxx**
- Mittausepävarmuuden määrittäminen, ohje: **DOC-xxxxxxx** ja Laskuri: Dxxxxx
- Poikkeamien hallinta IMS:issä WEB-xxxxxxx

Liite 4: Ohje mittausepävarmuuden määrittämiseen

Laatinut: Santeri Markkula

Hyväksynyt:

1 Yleistä

Tämän ohjeen perusteella voidaan määrittää mittausepävarmuus vain hyvin tavanomaisille mittauksille. Vaativampiin, pientä mittausepävarmuutta vaativiin mittauksiin epävarmuutta määritettäessä on syytä perehtyä tarkemmin mittausepävarmuuden määrittämisen teoriaan. Soveltuvaa kirjallisuutta on lueteltu tämän ohjeen lopussa.

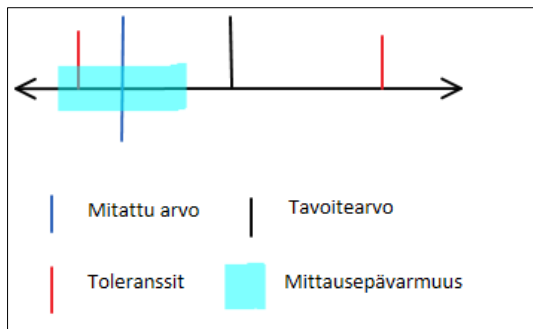
Tällä ohjeella pyritään siihen, että lukija kykenee kohtalaisen pienellä vaivalla määrittämään yksittäisen, yksinkertaisen mittausprosessin mittausepävarmuuden. On kuitenkin huomioitava, että mittausepävarmuus on useimmiten hyvin subjektiivinen tulkinta mittausprosessiin vaikuttavista seikoista. Siten mittausepävarmuuden määrittäjän on syytä olla kokenut ja hyvin perehtynyt mittausepävarmuuden määrittämiseen ja kyseessä olevaan mittausprosessiin.

2 Mittausepävarmuus

Mittausepävarmuus on ei-negatiivinen parametri, joka kuvaa käytettyjen tietojen perusteella mittaussuurelle saatujen arvojen oletettua vaihtelua. Toisin sanoen, mittausepävarmuus kertoo tietyllä todennäköisyydellä, minkä alueen sisällä mitatun suureen todellisen arvon uskotaan olevan mittaustulokseen nähden.

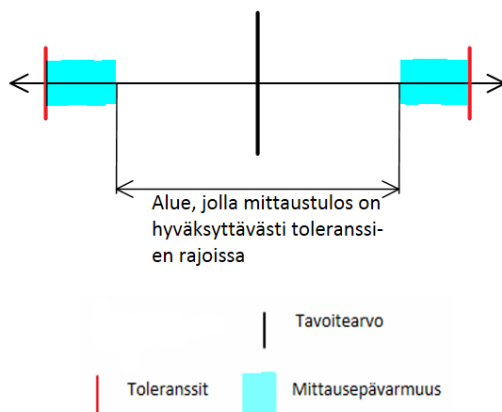
Käytännössä siis, jos suureen Y mittaustuloksen x mittausepävarmuus on u tietyllä todennäköisyydellä (esim. 95,45 %) ja sitä vastaavalla kattavuuskertoimelle k , ja ilmoitetaan tulos muodossa $Y = x \pm u$, $k=2$, niin tällöin Y :n todellinen arvo on välillä $[x-u, x+u]$ kattavuuskertoimella 2. Eli kun kattavuuskerroin 2 vastaa 95,45 % luottamustasoa, on todellinen arvo mainitulla välillä tällä todennäköisyydellä.

Kun sovelletaan edellistä esimerkkiä kuvaan 1, mitatun suureen todellinen arvo sijaitsee siis jossain turkoosin alueen sisällä 95,45 % todennäköisyydellä. Tämä tarkoittaa sitä, että suureen todellinen arvo saattaa olla toleranssien ulkopuolella, jolloin kappaletta ei voida hyväksyä. Mikäli mittausepävarmuus olisi pienempi ja saataisiin edelleen sama mittaustulos, voitaisiin mittaustulos hyväksyä.



Kuva 1 Mittausepävarmuus

Edellinen on kerrottu, jotta lukija ymmärtää, mikä merkitys mittausepävarmuudella on. Pieni mittausepävarmuus vaatii tarkkaa (ja kallista) mittalaitetta sekä hyvin valvottuja mittausolosuhteita. Toisaalta mikäli mittausepävarmuus on pieni, voidaan hyväksyä kappaleita, joista mitattu arvo on lähellä toleranssirajaa. Voidaan siis ajatella, että mittauksen epävarmuus pienentää toleranssialuetta, jolla mitattu arvo saa olla, mittausepävarmuuden verran. Kuva 2 selvittää tilannetta. Mikäli mittaustulos osuu kuvaan 2 merkitylle turkoosille mittausepävarmuuden alueelle, ei kappaletta voida hyväksyä. Mittaustuloksen on siis oltava mittausepävarmuuden päässä toleranssirajasta.



Kuva 2 Mittausepävarmuuden vaikutus toleranssirajoihin

Kattavuuskerroin k vastaa siis normaalijakauman mukaista todennäköisyydestä. Kattavuuskertoimen ja todennäköisyydestä eli luottamustasojen vastaavuus on esitetty taulukossa 1. Keltaisella korotettu luottamustaso $k=2$ on hyvin yleisesti käytössä. Tällä siis määritellään, kuinka suurella todennäköisyydellä mitattavan suureen todellinen arvo on mittausepävarmuuden sisällä. Kattavuuskerrointa käytetään laajentamaan **standardimittausepävarmuuden** ($k = 1$) luottamustasoa, siten että suureen todellinen arvo on suuremmalla todennäköisyydellä mittausepävarmuuden alueella. Käytännössä standardiepävarmuus kerrotaan kattavuuskertoimella, mikä kasvattaa mittausepävarmuuden arvoa, mutta parantaa todennäköisyyttä jolla todellinen suureen arvo on mittausepävarmuuden alueella.

Taulukko 1, Luottamustasojen ja kattavuuskertoimien vastaavuus

Luottamustaso (%)	68,27	90	95	95,45	99	99,73
Kattavuuskerroin k	1	1,645	1,96	2	2,576	3

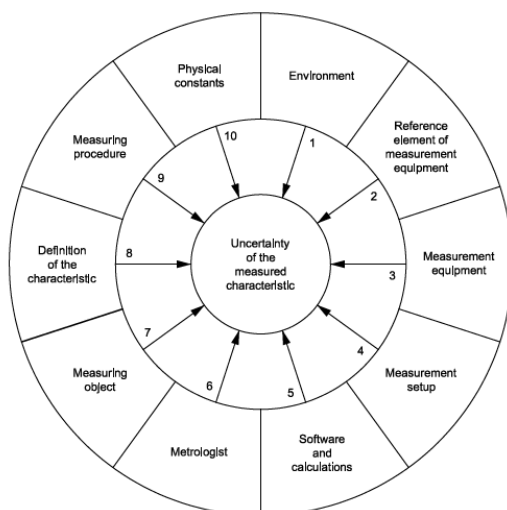
3 Mittausepävarmuuden määrittäminen

Mittausepävarmuuden määrittämiseen kuuluu viisi vaihetta:

- 1) **Identifioi kaikki tärkeät mittausepävarmuuskomponentit**
Monet tekijät vaikuttavat mittausepävarmuuteen. Määrittele komponentit yksityiskohtaisen mittausmenetelmäkaavion avulla. Käytä *mittaussuureita* ko. matemaattisessa mittausyhtälössä.
- 2) **Laske jokaisen mittausepävarmuuskomponentin standardiepävarmuus**
Jokainen mittausepävarmuuden komponentti määritetään joko A-tyyppin tai B-tyyppin mittausepävarmuusarvion avulla.
- 3) **Laske yhdistetty mittausepävarmuus**
Periaate: yhdistetty mittausepävarmuuden määrittäminen perustuu osaepävarmuuksien neliölliseen yhdistämiseen.
Käytännössä: yhdistetty mittausepävarmuus saadaan laskemalla standardiepävarmuuskomponenttien neliöt yhteen ja ottamalla summasta neliöjuuri.
- 4) **Laske laajennettu mittausepävarmuus**
Kerro yhdistetty mittausepävarmuus kattavuuskertoimella k .
- 5) **Esitä mittaustulos muodossa:**
$$Y = y \pm U$$

Kuva 3 Mittausepävarmuuden määrittämisen vaiheet (MIKES, Metrologiasta lyhyesti)

Hankalin vaihe mittausepävarmuuden määrittämisessä on epävarmuuskomponenttien identifiointi ja niiden keskinäisten vaikutusten arviointi. Tähän SFS-EN ISO 14253-2 antaa erittäin hyvät työkalut ja laajat listat, joiden pohjalta eri epävarmuuskomponentteja voidaan tunnistaa.



Kuva 4 Epävarmuuskomponenttien jaottelu ISO 14253-2 mukaan

Kuvassa 4 on ko. standardin mukainen epävarmuuskomponenttien jaottelu. Jaottelun avulla voidaan helpottaa epävarmuuskomponenttien tunnistamista. Standardista löytyy lisäksi kuvan 4 jaottelun mukaan otsikoidut listat mahdollisista epävarmuuden aiheuttajista. Nämä listat kannattaa käydä läpi määrittäessä epävarmuuskomponentteja.

Mittausepävarmuus voidaan määrittää joko tilastollisin menetelmin (tapa A) tai tukeutuen kalibrointitodistuksiin, valmistajien spesifikaatioihin, standardeihin jne. (tapa B). Tapa A on tilastollinen menetelmä, jossa mittausepävarmuus määritetään toistokokeella. Tapaa A voidaan käyttää osana tapaa B määrittäessä epävarmuuskomponenttien arvoa.

Mittausepävarmuus määritetään epävarmuuskomponentin standardiepävarmuuksien avulla. Standardiepävarmuus taas on epävarmuuskomponentin arvon vaihtelua kuvaava **keskihajonta**. Keskihajonta määritetään, joko tavalla A tai B. Keskihajonta eli standardiepävarmuus vastaa siis epävarmuuskomponentin epävarmuutta kattavuuskertoimella $k=1$. Yhdistämällä standardiepävarmuudet saadaan **yhdistetty mittausepävarmuus** eli **kokonaisepävarmuus**, jotka ovat siis käytännössä synonyymejä mittausepävarmuudelle.

Mittausepävarmuuden määrittämistä varten on tehty MS Excel-laskuri, jonne voidaan tavanomaisissa tapauksissa vain syöttää tarvittavat tiedot ja ohjelma tekee tarpeellisen laskennan. Erittäin vaativissa mittauksissa, joissa mittausepävarmuuden tarkka määrittäminen on tärkeää, ei voida tätä laskuria käyttää, sillä se sisältää tiettyjä yksinkertaistuksia ja yleistyksiä. Haastavissa tapauksissa on mittausepävarmuus määritettävä kirjallisuuteen tukeutuen.

Tässä ohjeessa käsitellään mittausepävarmuuden määrittämistä Excel-laskurin avulla.

3.1 Tapa A

Mittausepävarmuus voidaan määrittää joko tilastollisin menetelmin (tapa A) tai tukeutuen kalibrointitodistuksiin, valmistajien spesifikaatioihin, standardeihin jne. (tapa B). Tapa A on tilastollinen menetelmä, jossa mittausepävarmuus määritetään toistokokeella. Tapaa A voidaan käyttää osana tapaa B määrittäessä epävarmuuskomponenttien arvoa.

Toistokokeessa mitataan samasta kohteesta samaa kohtaa samalla mittalaitteella toistuvasti. Mikäli kohde tai esimerkiksi mittaaja vaihtuu, on eri kohteesta tai eri mittaajan tekemät mittaukset kirjattava erikseen omina **ryhminään**. Esim. eri mittaajien mitatessa samaa kohdetta, muodostavat yhden mittaajan tulokset yhden ryhmän ja toisen mittaajan tulokset toisen ryhmän. Jos toinen mittaaja mittaa myös toista kappaletta tulee tästäkin oma tuloryhmänsä.

Käytettäessä Excel-laskuria toistokokeen tulosten käsittelyssä on huomioitava seuraavia asioita:

- Kaikki syötettävät mittaustulokset ovat samassa yksikössä (esim. mm)
- Huomioidaan ryhmät, syöttämällä kunkin ryhmän tulokset omaan sarakkeeseensa
- Ryhmät täytetään alkaen ryhmästä 1
- Mittaustuloksia on oltava ryhmässä vähintään kaksi, ryhmä voi olla myös täysin tyhjä
- Mikäli toistokokeella määritettäviä epävarmuuden komponentteja on useampia, syötetään kunkin komponentin mittaustulokset omalle välilehdelle (Tapa A1, Tapa A2 jne.)

Laskuri laskee syötetyistä tuloksista kunkin ryhmän keskihajonnan, jotka yhdistetään koko mittaustulospopulaation keskihajonnaksi. Tämä populaation keskihajonta on syötettyjen mittaustulosten standardiepävarmuus, jota voidaan käyttää kokonaisepävarmuuden laskennassa.

3.2 Tapa B

Tapa B perustuu epävarmuuskomponenttien määrittämiseen olemassa olevan tiedon avulla. Tietoa epävarmuudesta voidaan hankkia esimerkiksi mittalaitteen valmistajan spesifikaatioista, standardeista, käyttöohjeista, arvioimalla mittausprosessin ominaisuuksia, laskemalla (esim. lämpölaajeneminen), kokemuksen perusteella jne. Hankittujen tietojen pohjalta määritetään kullekin epävarmuuskomponentille standardiepävarmuus **u**.

Usein standardiepävarmuuden määrittämisessä käytettävä tieto on jokin vaihteluväli. Esimerkiksi tiedetään, että mittaussympäristössä lämpötila vaihtelee tietyllä välillä ja tämän perusteella voidaan laskea paljonko vaikka metalliviivoittimen pituus vaihtelee lämpötilan vaihdellessa ja näin määrittää mittausepävarmuus.

Tyypillisesti standardiepävarmuus määritetään epävarmuuskomponentin vaihteluvälin puolikkaan avulla. GUM:issa on esitetty kaavat joiden avulla tyypillisissä tapauksissa standardiepävarmuus saadaan helposti suoraan vaihteluvälin puolikkaasta ja näitä on hyödynnetty Excel-laskurissakin. Oleellista on tietää, minkälaisen jakauman mukaan epävarmuuskomponentin suure vaihtelee. Laskurissa oletetaan, että suure voi vaihdella normaali-, suorakulmaisen- tai puolisuunnikkaan- (kolmio) jakauman mukaan.

Suorakulmaista jakaumaa, jossa suureen arvot saattavat esiintyä yhtä todennäköisesti koko vaihteluvälillä, noudattavia suureita ovat esimerkiksi: tietyllä välillä vaihtelevasta lämpötilasta johtuva pituuden muutos, paino (jos ilmoitettu esim. ”pussin paino 50-55g), jne. Suorakulmaista jakaumaa noudattavat siis sellaiset suureet, joista ei voida arvioida, että suureen arvot useimmiten olisivat esimerkiksi alueen keskellä. Eli mikäli valmistaja ilmoittaa ”pussin paino 50-55g”, tällöin pussin paino todella saattaa olla mikä tahansa mainitulla

välillä. Mainitussa esimerkissä vaihteluvälin pituus on siis 5 g ja sen puolikas 2,5g. Tällöin standardiepävarmuus saadaan kertomalla vaihteluvälin puolikas suorakulmaisen jakauman kertoimella $1/\sqrt{3}$, tai syöttämällä edellä mainitut tiedot Excel-laskuriin.

Puolisuunnikkaan (kolmion) muotoista jakaumaa voidaan käyttää kun epävarmuuskomponentin suureen arvojen voidaan olettaa osuvan harvemmin vaihteluvälin reunoille, kuin keskialueelle. Tämä on siis tavallaan suorakulmaisen- ja normaalijakauman yhdistelmä tai välimuoto. Tätä voidaan käyttää kun ei uskalleta olettaa vaihteluvälin noudattava normaali-jakaumaa, mutta tulokset eivät ole myöskään jakaantuneet tasaisesti koko vaihteluvälille. Puolisuunnikkaan muotoiselle jakaumalle kerroin on $1/\sqrt{6}$.

Tyypillisesti normaalijakaumaa noudattavat toistomittauksen tulokset, eli jos epävarmuuskomponentti on määritetty toistomittauksella, on laskennassa käytettävä normaalijakaumaa. Yleisesti voidaan myös olettaa, että mikäli valmistaja on ilmoittanut mittalaitteen mittausepävarmuuden, se noudattaa normaalijakaumaa. Samoin erilaisten ilmoitettujen mittalaitteiden virheiden voidaan olettaa noudattavan normaalijakaumaa, jos muuta ei ole ilmoitettu.

Excel-laskurissa määritetty vaihtelualueen puolikas syötetään omaan sarakkeeseensa ja jakauma valitaan syöttämällä ”1” valitun jakauman sarakkeeseen.

3.3 Kokonaisepävarmuus ja laajennettu epävarmuus

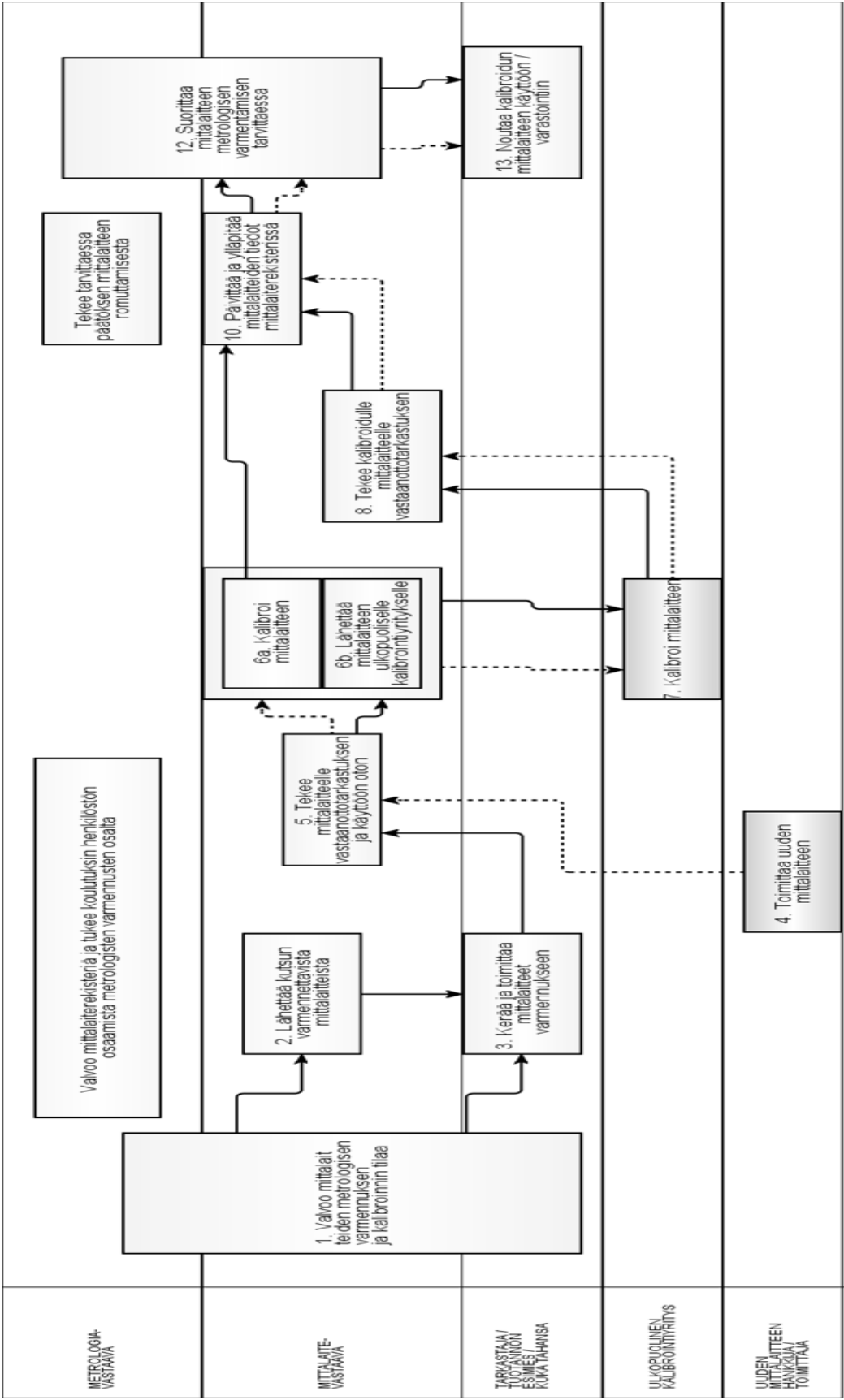
Kokonaisepävarmuuden eli yhdistetyn standardiepävarmuuden laskeminen on yksi mittausepävarmuuden hankalimmista tehtävistä. Mikäli epävarmuuden komponentit ovat toisistaan riippuvaisia, tulee ne yhdistää eri tavalla, kuin riippumattomat suureet. Samoin mittattavan suureen matemaattisen yhtälön muoto vaikuttaa epävarmuuskomponenttien yhdistämiseen. Tämän vuoksi vaativien ja pientä mittausepävarmuutta vaativien mittausten kohdalla on jälleen tukeuduttava kirjallisuuteen kokonaisepävarmuuden laskemiseksi.

Perustapauksessa – ja kun epävarmuus saa olla suuri, voidaan olettaa epävarmuuskomponentit riippumattomiksi ja laskea määritetyt standardiepävarmuudet neliöllisesti yhteen ja ottaa summasta neliöjuuri. Excel-laskuri hoitaa tämän automaattisesti ja tulostaa tulokset ”Kokonaisepävarmuus” –välilehdelle. Samalta välilehdeltä on myös luettavissa eri luottamustasoja ja kattavuuskertoimia vastaavat laajennetut epävarmuudet. Valitulla kattavuuskertoimella kerrottu yhdistetty standardiepävarmuus on se epävarmuus, joka voidaan ilmoittaa mittaustuloksen yhteydessä.

4 Kirjallisuutta

- JCGM 100:2008 GUM (Guide to the expression of uncertainty in measurement)
- SFS-EN ISO 17253-2:2011 Geometrical product specifications (GPS). Inspection by measurement of workpieces and measuring equipment. Part 2: **Guidance for estimation of uncertainty in GPS measurement, in calibration of measuring equipment and in product verification**
- EUROLAB Technical report no. 1/2002. *Measurement uncertainty in testing*

Liite 5: Mittalaitteiden hallinta, prosessikaavio



Liite 6: Kaliiperimittausprosessin kuvaus

Luonut: Santeri Markkula

Hyväksynyt:

1 Yleistä

Tässä dokumentissa määritellään NEMO/AMOS -tuliputken kaliiperin mittausprosessi standardin SFS-EN ISO 10012:2003 vaatimuksia noudattaen. Tämä dokumentti on oltava kaliiperimittausa suorittavien henkilöiden saatavilla ja näiden henkilöiden on perehdyttävä tähän dokumenttiin ennen mittauksen suorittamista. Tämä dokumentti sekä dokumentit, joihin viitataan tässä dokumentissa, hallinnoidaan Partia Land'in laatu järjestelmän mukaisesti.

2 Kaliiperin mittaus

2.1 Metrologiset vaatimukset

NEMO/AMOS –heittimillä tulee kyetä ampumaan nimellismitaltaan 120 mm kranaatteja. Tästä seuraa, että heittimen tuliputken kaliiperin on oltava 120 mm, eli alan vaatimukset huomioiden uuden tuliputken halkaisijan on oltava 120 mm Hx (+0,0xx/0 mm) tuliputken suun puoleisessa päässä ja 120,xx mm Hx (+0,0xx/0 mm) tuliputken alkupäässä.

Edellä esitetty mitta voidaan mitata mittalaitteella, joka täyttää seuraavat metrologiset vaatimukset:

- Mittalaitteen mittausalue 119,9 – 120,5 mm
- Mittalaitteen resoluutio 0,001 mm
- Mittalaitteen erottelukynnys 0,002 mm
- Suurin sallittu mittausepävarmuus $\pm 0,01$ mm 95,45 % luottamustasolla ($k=2$)
- Mitatun kohdan paikka tuliputken pitkittäisakselilla pystyttävä tunnistamaan suuri-piirteisesti

2.2 Kaliiperin mittauslaitteisto

Kaliiperin mittauslaitteisto koostuu mittapäästä antureineen, mittaustulokset rekisteröivästä tietokoneesta mittaushjelmistoineen, mittapään ja tietokoneen yhdistävästä johdosta, mittapään asetusrenkaasta sekä mittapään työntösauvasta. Kaliiperin mittauslaitteisto, sekä sen käyttö on ohjeistettu tarkemmin kaliiperin mittaushjeessa (**Dxxxxx**).

Mittapää on teräksinen lieriö, jonka pääty-ympyröiden keskipisteiden välisen akselin kautta kulkevat mittapään kyljestä ulkonevat anturit. Anturit on asetettu suorassa kulmassa toisiinsa nähden niin, että tuliputkesta saadaan yhdellä mittauksella mitattua pysty- ja vaakahalkaisija. Anturin runko kulkee koko mittapään läpi siten, että sen anturin molemmat päät koskettavat tuliputken sisäpintaa. Anturin mittauskärjet ovat jousikuormitteiset jatkuvan kontaktin takaamiseksi. Mittauskärjet liikkuvat anturissa tuottaen tietoa mittauskärjen paikasta anturin runkoon nähden.

Anturit tuottavat siis vain tietoa siitä, miten mittauskärki on asemoitunut anturin runkoon nähden. Tämän vuoksi kaliiperimittauksen aluksi on tehtävä ns. referenssimittaus, jossa asetetaan mittauspään ”nollakohta”. Referenssimittauksessa mittapää asetetaan asetusrenkaaseen, jonka nimellishalkaisija on 120,xxx mm. Mittausohjelmassa asetetaan tämä lukema referenssimitaksi. Tällöin mitattaessa kaliiperia mittausohjelma vertaa anturilta tulevaa mittapään paikkatietoa referenssimittaan, minkä perusteella saadaan mittalaitteen näyttämäksi tuliputken halkaisija.

Mittapäässä on ns. juoksupyörä, jonka avulla mitataan mittapään paikkaa tuliputkessa. Tämän avulla voidaan suuripiirteisesti kertoa mitatun halkaisijan sijainti tuliputken pitkittäisakselilla. Mittauksen alkupisteen määrittämiseksi mittapäässä on kohdistusura, joka asetetaan tuliputken suulle. Tällöin kaliiperin mittaus alkaa 150 mm tuliputken suulta.

Mittapää työnnetään työntösauvalla tuliputken läpi. Työnnön aikana anturit mittaavat tuliputken halkaisijaa ja juoksupyörän avulla rekisteröidään mittauskohdat tuliputken pitkittäisakselilla. Mittausohjelma rekisteröi tulokset tietyiltä etäisyyksiltä, sekä piirtää kuvaa tuliputken halkaisijasta suhteessa putken pitkittäisakseliin.

Mittauslaitteistolla, mittapäällä ja mittausohjelmalla on oltava yksilöllinen tunnus, jolla mainitut voidaan tunnistaa mittalaiterekisterissä. Mittalaiterekisteriin merkitään myös kaliiperimittalaitteiston, mittapään ja mittausohjelman kuuluminen tähän mittausprosessiin.

Mittapään rakenteen sulkevat ruuvit sinetöidään soveltuvalla menetelmällä. Mikäli sinetien havaitaan vahingoittuneen tai puuttuvan, on mittapää varmennettava ennen käyttöä. Samoin, mikäli mittalaite tippuu tai kolhiintuu, on se varmennettava uudelleen. Todistus kalibroinnista ja metrologisesta varmennuksesta on liitettävä mittalaitteiston kuljetuslaukuun.

Kaliiperimittalaitteella johon kuuluvat osat:

- Mittapää, no: Txxxxx, kalibroitava 10/2017 mennessä
- Asetusrengas, 120,xxx mm, no: Txxxxx, kalibroinnin epävarmuus $\pm 0,001$ mm, $k=2$, kalibroitava 5/2017 mennessä.
- Mittausohjelma tulosten lukemiseen, tallentamiseen ja laskemiseen: versio 3.2

Kaliiperimittauslaitteistolla on seuraavat metrologiset ominaisuudet:

- Mittalaitteen mittausalue 119,9 – 121,9 mm
- Mittalaitteen resoluutio 0,001 mm
- Mittalaitteen erottelukynnys 0,001 mm
- Mittausepävarmuus $\pm 0,0069$ mm 95,45 % luottamustasolla ($k=2$)
- Mitatun kohdan paikka tuliputken pitkittäisakselilla pystytään tunnistamaan suuripiirteisesti

Mittauslaitteiston metrologinen varmennus perustuu kalibrointitodistukseen, mittausepävarmuuden arvioon, anturivalmistajana spesifikaatioon sekä tähän dokumenttiin. Mittalaitteen metrologinen varmennusjakso on kaksi (2) vuotta. Metrologisen varmennusjakson pituutta voidaan tarvittaessa lyhentää tai pidentää perustuen mittalaitteen ominaisuuksien muutoksiin tai muuttumattomuuteen.

2.3 Mittausolosuhteet ja vaikuttavat suureet

Kaliiperin mittauksessa on ensisijaisen tärkeää varmistaa, että asetusrenkas, mitattava tuliputki ja mittapää ovat samassa lämpötilassa. Asetusrenkaan ja tuliputken lämpötilaero on suurin yksittäinen mittausepävarmuuden aiheuttaja, joten lämpötilaeron minimoiminen on varmistettava.

Mittausolosuhteille on määritetty seuraavat vaatimukset

- Tuliputken, asetusrenkaan ja mittapään on oltava samassa lämpötilassa (± 1 °C)
- Lämpötilan tasaantumisaika 24 h
- Mittauspaikka ei saa olla suorassa auringonpaisteessa (huom. ikkunat)
- Tuliputken on oltava puhdas öljystä ja muusta liasta
- Mittauspaikan oltava kuiva (suhteellinen kosteus 20 – 60 %) ja pölytön
- Mittauspaikalla ei saa olla merkittävää tärinää (esim. ohiajavat panssarivaunut)
- Tuliputki oltava tuettuna oikealla tavalla ja kiinnitettynä siten, että putkeen kohdistuu vain vähäisiä voimia

Ympäristöolosuhteita on valvottava ja niistä on tarpeellisissa määrin tehtävä tallenteet. Ympäristöolosuhteita valvovat mittalaitteet on oltava metrologisesti varmennettuja ja niiden on oltava tunnistettavissa mittauksen hallintajärjestelmässä. Tässä prosessissa tallennettavat ympäristö- ja vaikutussuureet on esitetty kohdassa 3. Mittauspöytäkirja.

2.3 Mittausepävarmuus

Kaliiperin mittauslaitteistolle on määritetty mittausepävarmuus dokumentissa **Dxxxxx**. Dokumentissa esitetään mittausepävarmuuden aiheuttajat ja epävarmuuden arviointi on suoritettu sekä suorittamalla toistomittauksia, että arvioimalla valmistajien ilmoittamien tms. epävarmuuksien pohjalta. Toistokoe on suoritettu suunnitelman **Dxxxxx** mukaan.

Määritetyt mittausepävarmuudet on esitetty taulukossa 1. Tapa A tarkoittaa toistokokeella määritettyä epävarmuutta ja Tapa B valmistajien tietoihin tms. perustuvaa arvioita. Luotamustasoa 95,45 % ($k=2$) vastaavat epävarmuudet ovat taulukossa keltaisella korostetulla rivillä sarakkeissa ”Laajennettu epävarmuus (mm)”.

Taulukko 1 Mittausepävarmuus

Luottamus- taso (%)	Kattavuusker- roin <i>k</i>	Tapa A		Tapa B	
		Yhdistetty standar- diepävarmuus (mm)	Laajennet- tu epä- varmuus (mm)	Yhdistetty standar- diepävarmuus (mm)	Laajennet- tu epä- varmuus (mm)
68,27	1	0,0034	0,0034	0,0044	0,0044
90	1,645	0,0034	0,0057	0,0044	0,0073
95	1,96	0,0034	0,0067	0,0044	0,0087
95,45	2	0,0034	0,0069	0,0044	0,0089
99	2,576	0,0034	0,0089	0,0044	0,0114
99,73	3	0,0034	0,0103	0,0044	0,0133

Mittausepävarmuus on $\pm 0,0089$ mm kattavuuskertoimella $k=2$.

2.5 Pätevyydet

Kaliiperimittauksia suorittavilla henkilöillä on oltava ohjeen 67851 mukainen pätevyys. Pätevyydestä/käydystä koulutuksesta löytyy merkintä Patrian HR-järjestelmästä.

2.6 Metrologinen varmennus

Seuraavassa taulukossa on esitetty metrologiset vaatimukset ensimmäisessä sarakkeessa ja mittalaitteella olevat metrologiset ominaisuudet toisessa sarakkeessa:

Taulukko 2 Metrologiset ominaisuudet ja vaatimukset

Ominaisuus	Vaatus	Mittalaitteen ominaisuus
Mittausalue	119,9-120,5 mm	119,9-121,9 mm
Resoluutio	0,001 mm	0,001 mm
Erottelukynnys	0,002 mm	0,001 mm
Mittausepävarmuus	$< \pm 0,01$ mm $k=2$	$\pm 0,0069$ mm $k=2$
	Mitatun kohdan paikka on pystyttävä tunnistamaan suuripiirteisesti	Juoksupyörä mittaa mittauskohdan paikkaa suuripiirteisesti

Mittalaite täyttää metrologiset vaatimukset ja siten soveltuu käytettäväksi tässä mittauksessa.

3 Mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirjasta on selvittävä seuraavat tiedot:

- Viittaus tähän dokumenttiin
- Viittaus voimassa olevaan mittausohjeeseen
- Viittaus voimassa olevaan tuliputken mittapiirustukseen
- Käytettävien mittalaitteiston, mittapään, asetusrenkaan ja mittausohjelmiston yksilöintitunnukset
- Mittaajilta vaadittavat pätevyudet
- Vaaditut ympäristöolosuhteet

Mittauspöytäkirjaan on kirjattava seuraavat tiedot:

- Tämän dokumentin käytetty revisio
- Käytetyn mittausohjeen käytetty revisio
- Käytetyn mittausohjelman versio
- Voimassa olevan tuliputken mittapiirroksen revisio
- Käytettyjen mittalaitteiden ja mittausohjelmiston yksilöintitunnukset
- Mittalaitteiden varmennuksen voimassaolon päättymisajankohdat
- Mittauksen suorittamisen päivämäärä
- Mittaajan nimi
- Käytettävät mittausepävarmuuden arvo ja kattavuuskerroin k
- Mitattavan tuliputken tyyppi
- Mitattavan tuliputken numero
- Mitattavan tuliputken R-numero
- Mitattavalla tuliputkella ammuttujen laukausten lukumäärä
- Mittauksen aloitusaika
- Ilman lämpötila putken välittömässä läheisyydessä mittauksen alkaessa
- Ilman lämpötila mittauslaitteiston välittömässä läheisyydessä mittauksen alkaessa
- Edellä mainitut lämpötilat voidaan mitata myös putken ja asetusrenkaan pintalämpötiloina
- Käytettyjen lämpömittarien yksilöintitunnukset ja metrologisen varmennuksen päättymisajankohdat

Tuloksina mittauspöytäkirjaan kirjataan:

- Käytetyt mittausepävarmuus ja kattavuuskerroin k
- Mittapään kummankin anturin antamat lukemat taulukoituna 100 mm välein
- Kuvaaja, jossa piirrettynä kummankin anturin näyttämä suhteessa etäisyyteen putken suulta.
- Kuvaajassa esitetään myös rajat, joiden sisällä hyväksyttävät mittaustulokset ovat
 - Toleranssin xx ($+0,0xx/0$ mm) tai ($+0,0xx/0$ mm) asettamat rajat mittausepävarmuus huomioiden

4 Muuta huomioitavaa

Tässä mittauksessa on ehdottomasti huomioitava, että asetusrengas ja tuliputki ovat saman lämpöisiä ennen mittauksen aloittamista.

5 Liittyvät dokumentit

Tähän mittausprosessin määrittämisdokumenttiin liittyvät seuraavat dokumentit:

1. Kaliiperin mittausohje **Dxxxxxx**
2. Mittausohjelman käyttöohje (Atonissa): **xxxxxx**
3. Kaliiperimittauksen mittausepävarmuuden määrittäminen **Dxxxxxx**
4. Mittausepävarmuuden määrittämine kokeellisesti – suunnitelma **Dxxxxx**
5. NEMO/AMOS –tuliputken mittapiirustus **RAxxxxx**